

## 修 士 論 文 の 和 文 要 旨

研究科・専攻	大学院 情報システム学研究科 情報メディアシステム学専攻 博士前期課程		
氏 名	齊藤志保	学籍番号	1550017
論 文 題 目	KKse -包丁調理における児童の安全教育システム-		
<p style="text-align: center;">要 旨</p> <p>本研究では、小学校低学年児童を対象に、包丁調理の安全教育システム、KKse(Kitchen Knife Safety Educator)を提案した。料理の初心者にとって安全の確保と安全に調理を行うための技能の習得は、最初に重要である。包丁調理は、安全の確保が必要な調理であるにもかかわらず、実体験を伴わずに、安全に包丁調理を行うための技能を伝達することが難しい。何故ならば、包丁調理においては力加減など、言葉では伝達の難しい情報を扱う必要があるためである。</p> <p>そこで、児童の安全が確保されたまま、体感的に包丁調理の危険行動を学習可能な KKse システムを提案した。具体的には安全な包丁調理方法として、押し出し切りと食材を安定して支える方法の 2 つを教示する。視覚的には認識できない、ユーザの包丁動作を包丁の刃先と食材との接触面圧力、また食材底面の圧力値変化を取得し分析することで明らかにした。</p> <p>さらに、安全かつ直感的な学習を可能にするために、ユーザ動作の正誤に応じて、包丁で食材に切り込んだ時の触覚フィードバックを再現する、糸鋸型の包丁型デバイスを提案した。糸の張力を調整することで、包丁で食材を切る時の反力を提示することの出来る道具型デバイスは新しく今後安全調理学習以外にも、技術伝承やユーザインタフェース開発など様々な場面での応用が期待される。実験を通して提案システムの学習効果を検討したところ、児童は、KKse を通して、押し出し切りの体の動きを習得することが可能であることがわかった。しかし、現行のシステムでは、力加減のモデル化ができていないため、正しい力加減までは伝達できていない。これは今後改良の必要がある。さらに、食材の安定性を計測するデバイスについては、ユーザに対する実験を実施できていない。今後、実験を実施し、その効果と課題点を明らかにしていく必要がある。今後はこれらの点について改善に努める。</p>			

平成 28 年度修士論文

KKse -包丁調理における児童の安全教育システム-

電気通信大学 大学院

情報システム学研究科情報メディアシステム学専攻

学 籍 番 号 : 1550017

氏 名 : 齊藤 志保

主任指導教員 : 野嶋 琢也 准教授

指 導 教 員 : 広田 光一 教授

指 導 教 員 : 田野 俊一 教授

提 出 年 月 日 : 平成 29 年 2 月 24 日

# 目次

第1章	序論.....	1
第2章	関連研究 .....	10
2.1	調理学習支援システム .....	10
2.2	スキルの伝達.....	16
2.3	センシング .....	19
2.3.1	切り方のセンシング .....	20
2.3.2	静止物体の安定性センシング .....	20
2.4	フィードバック .....	23
第3章	KKse .....	27
3.1	安全な包丁使い.....	28
3.2	包丁使いの教育手法 .....	35
3.3	教育指針の実現方法 .....	36
3.3.1	利き手の扱い .....	36
3.3.2	非利き手の扱い .....	39
3.4	解決方法の選定.....	40
第4章	システム設計 .....	42
4.1	食材型デバイス .....	42
4.1.1	デバイス構成 .....	43
4.1.2	判定アルゴリズム .....	45
4.2	包丁型デバイス .....	48
4.2.1	デバイス構成 .....	49
4.2.2	制御 .....	52
4.2.3	指先接触判定 .....	55
4.3	まな板型デバイス .....	56
4.3.1	デバイス構成 .....	57

---

4.3.2	判定アルゴリズム.....	60
4.4	システム利用の流れ.....	62
第5章	運用実験.....	64
5.1	押し出し切りの学習効果.....	64
5.1.1	実験環境.....	65
5.1.2	実験手法.....	67
KKse	での学習.....	68
5.1.3	学習効果の評価方法.....	68
5.1.4	実験結果.....	70
5.1.5	考察.....	81
5.2	食材の安定の判定可否.....	83
5.2.1	実験環境.....	83
5.2.2	実験手法.....	85
5.2.3	実験結果.....	88
5.2.4	考察.....	91
第6章	おわりに.....	93
参考文献		95
謝辞		101
発表文献		103

# 図目次

図 1 親子料理の実施頻度[6].....	2
図 2 家庭での親子調理のきっかけ[6] .....	4
図 3 調理に興味を持った年齢・一緒に調理を始めた年齢[6].....	4
図 4 学年別・性別子供の親子調理意向[6].....	4
図 5 子供が親子調理をしない理由[6] .....	5
図 6 子供がやりたがる調理作業[5] .....	5
図 7 子供が行う調理作業[6].....	6
図 8 調理者の手の動きを時空間制約とした調理中の食材追跡.....	13
図 9 調理者の手の動きを時空間制約とした調理中の食材追跡[11] .....	13
図 10 Shadow Cooking[10] .....	14
図 11 Cooking support with information projection over ingredient[24] .....	14
図 12 Cutting Edge Vision[21] .....	15
図 13 子供用ままごとセット[22] .....	16
図 14 Exploring Gesture Sonification to Support Reflective Craft Practice[12] .....	18
図 15 Comparison of Experts' between Non-experts' Apple Peeling Skills and the Designing of Learning Support System[8] .....	18
図 16 Comparison of Experts' between Non-experts' Apple Peeling Skills and the Designing of Learning Support System[8] .....	19
図 17 Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection[29]22	
図 18 バーチャルリアリティ技術を援用した手術シミュレーション[19].....	25
図 19 Virtual Handcrafting[13].....	26

図 20 Virtual Handcrafting[13].....	26
図 21KKse 全体像のイメージ .....	28
図 22 安全な包丁使い[30].....	31
図 23 安全な包丁使い(2)[30] .....	32
図 24 年齢別包丁別包丁把持力とまな板荷重の比較[15].....	33
図 25 切り方と筋活動の関係性[7] .....	34
図 26 押し出し切り .....	34
図 27 利き手扱いのポイント 1.....	37
図 28 利き手扱いのポイント 2.....	37
図 29 食材型デバイス.....	43
図 30 食材型デバイスハードウェア構成 .....	44
図 31 圧力センサ FSR400.....	45
図 32 食材型デバイス.....	47
図 33 食材型デバイス圧力センサ反応グラフ .....	48
図 34 包丁型デバイス.....	49
図 35 包丁型デバイスハードウェア構成 .....	50
図 36 包丁型デバイスのサイズ情報.....	51
図 37 SG92R Micro servo[34] .....	51
図 38 包丁操作時にかける力とモーメント .....	54
図 39 動滑車と力.....	54
図 40 包丁型デバイスの張力と力.....	55
図 41 指先の接触判定.....	56
図 42 まな板型デバイス .....	57

図 43 まな板型デバイスハードウェア構成図 .....	58
図 44 押し出し切りシステムの動作の様子 .....	63
図 45 全体の流れ図.....	63
図 46 実験環境 .....	65
図 47 実験説明の様子.....	66
図 48 アンケートへの記入の様子 .....	67
図 49 実験の様子 .....	70
図 51 興味のある調理操作(学年別) .....	72
図 52 低学年児童の調理への興味と経験 .....	73
図 53 高学年児童の調理への興味と経験 .....	73
図 54 KKse とままごとセットとの学習体験の比較 .....	74
図 55 質問 1 で評価 3 以上を獲得した児童の割合.....	75
図 56 質問 2 で評価 3 以上を獲得した児童の割合.....	76
図 57 質問 3 で評価 3 以上を獲得した児童の割合.....	76
図 58 質問 1 KKse 練習前後の評価の平均の比較.....	78
図 59 質問 2 KKse 練習前後の評価の平均の比較 .....	79
図 60 質問 3 KKse 練習前後の評価の平均の比較 .....	79
図 61 質問 1 低学年児童と高学年児童の学習効果の比較 .....	80
図 62 質問 2 低学年児童と高学年児童の学習効果の比較 .....	80
図 63 質問 3 低学年児童と高学年児童の学習効果の比較 .....	81
図 64 実験環境 .....	84
図 65 食材代替用円筒形状物体 .....	84
図 66 まな板型デバイスを暗幕で覆っている様子.....	85

---

図 67 各状態の重り位置 .....	87
図 68 一度目の処理結果 .....	87
図 69 手動矩形選択処理結果 .....	88
図 70 状態 1 出力結果.....	89
図 71 状態 2 出力結果.....	89
図 72 状態 3 出力結果.....	90
図 73 状態 4 出力結果.....	90



## 表目次

表 1 圧力センサの性能.....	45
表 2 食材形状分類表.....	45
表 3 サーボモータの性能 .....	52
表 4 アクリル板の詳細.....	58
表 5 シリコンシートの詳細 .....	59
表 6 LED テープの詳細.....	59
表 7 カメラの詳細.....	60
表 8 状態 1 出力結果.....	89
表 9 状態 2 出力結果.....	90
表 10 状態 3 出力結果.....	90
表 11 状態 4 出力結果.....	91

# 第1章

## 序論

人間が生きる上で、食事は必要不可欠である。また、食事の選択は、生命を維持するのみにとどまらず、本人の健康状態を左右する一因である。健康的な食事をするにあたって、様々な経験を通じて食について知り、自ら食を選択する力を習得する人間を育てる食育が重要である。

1942年には食育を推進するための食育基本法が制定された[1]。食育基本法には、「食育はあらゆる世代の国民に必要なものであるが、子どもたちに対する食育は、心身の成長及び人格の形成に大きな影響を及ぼし、生涯にわたって健全な心と身体を培い豊かな人間性をはぐくんでいく基礎となるものである」という文言がある。すなわち、児童の食育を促すことが重要であると述べている。

これについて調理経験が児童の食育を促すという報告がある[2][3][4]。調理行動と食育の関連性を調査する研究は幾つか行われている。例えば、日常的に調理を行っている児童は食事に興味を持ち、栄養に関する知識を持ち合わせているという調査結果がある[3]。さらに、調理技能の高いものほど、欠食や外食の割合が少ないことが明らかになっている[4]。加えて、調理技

能を身につけ自ら食事を作ることで、児童がより健康的な食事を選択できるようになることが期待される。

児童は、大きく分けて2つの環境で調理をすることが多い。一つは、学校の調理実習やクラブ活動、習い事としてのお料理教室であり、もう一つは家庭内の食事準備などである。家庭行われる調理活動は、学校等で行う調理活動と比較して家庭ごとで実施される割合が異なる。東京ガス都市生活研究所の調査では、親子での調理を1週間に1日以上実施している母親は26%、父親は18.5%と低い値にとどまっている(図1)。つまり、家庭での調理活動を促進することで日常的に調理活動を行う児童の割合を高めることにつながると考えられる。また、家庭での親子調理は児童の食育への影響にとどまらず、家族間コミュニケーションの場ともなりうるため、家族仲への影響や幸福感の向上が期待される[6]。



図1 親子料理の実施頻度[6]

児童の家庭での調理行動のもっとも大きなきっかけとして、児童が調理に興味を持つことが挙げられる[5][6]。図3、図4からわかるように5歳の児童が最も調理に興味を持っており、小学校の高学年に上がるにつれて調理の

意欲が低下していく。図 5 では、子供が調理をしない理由として、子供が調理に興味を持たないという要因があげられる。そして、それと同様の割合で、やりたいが親から断られるために調理の機会を逃している様子が見える。すなわち、児童の興味度が高い幼いうちに調理行動を体験させることで、児童の興味の芽を摘み取らずに、自然な形で家庭での親子調理の実施に結びつけることができる。

児童の年齢が低いほど調理意向が高い一方で、調理行動には低年齢児童に実施させるには危険な操作も多くある。例えば、包丁で食材を切ったり、コンロで加熱したりする操作は、怪我や火傷の危険を伴う。その一方で、包丁で食材を切る、コンロで加熱するといった調理行動は児童が特に興味を持つ調理行動である(図 6)。子供が行う調理作業を学年別に見ると、危険を伴う調理行為は低学年時にはあまり行われず、学年が上がるごとに、行われるようになっていく(図 7)。しかし先に述べた通り、高学年の児童はすでに調理自体に興味を失っていることが往々にある。危険な調理行為に興味を持つ低学年児童がその調理行動の危険性から親から調理参加を断られる状況を改善することで、児童の調理への興味の芽を摘むことなく、自然と家庭での調理を促すことに繋がると期待される。

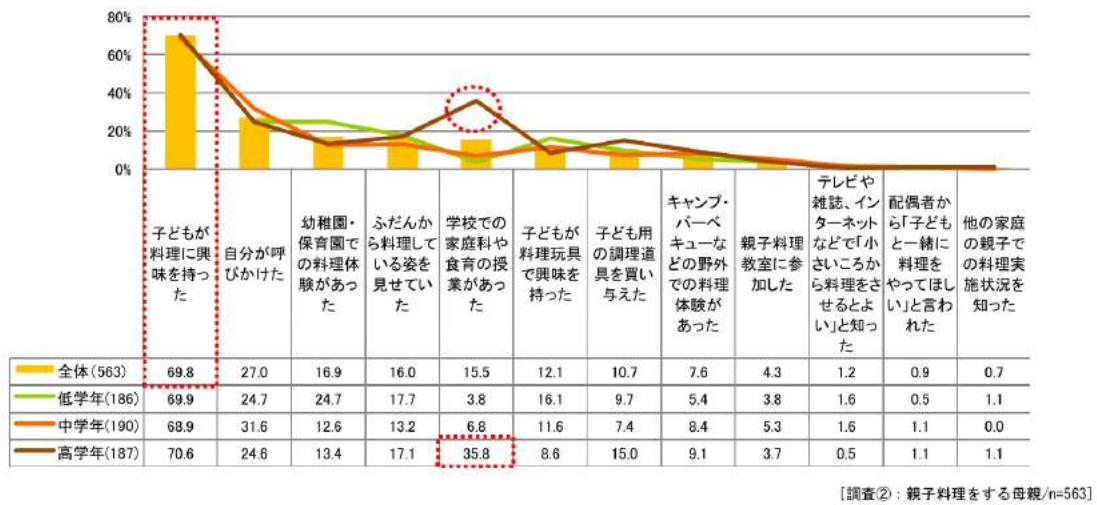


図2 家庭での親子調理のきっかけ[6]

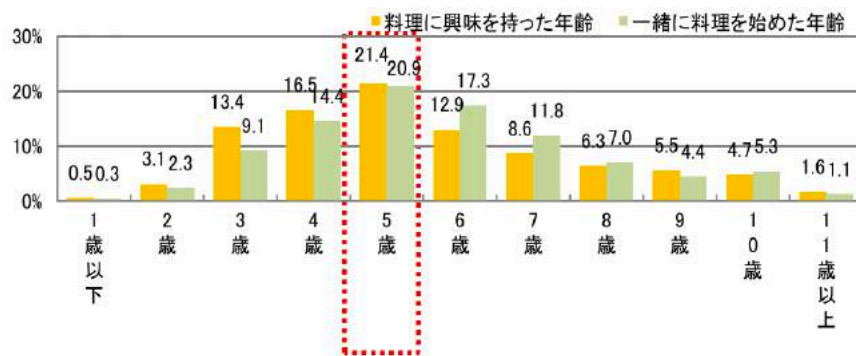


図3 調理に興味を持った年齢・一緒に調理を始めた年齢[6]

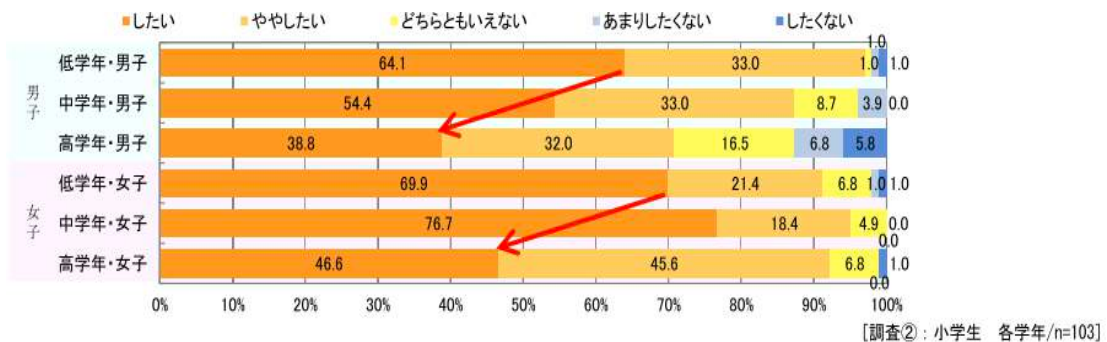
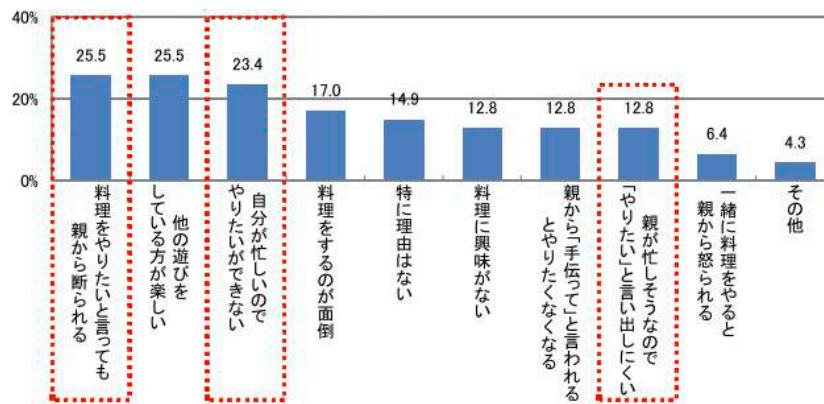


図4 学年別・性別子供の親子調理意向[6]



[調査②：親子料理をしない小学生/n=47]

図 5 子供が親子調理をしない理由[6]

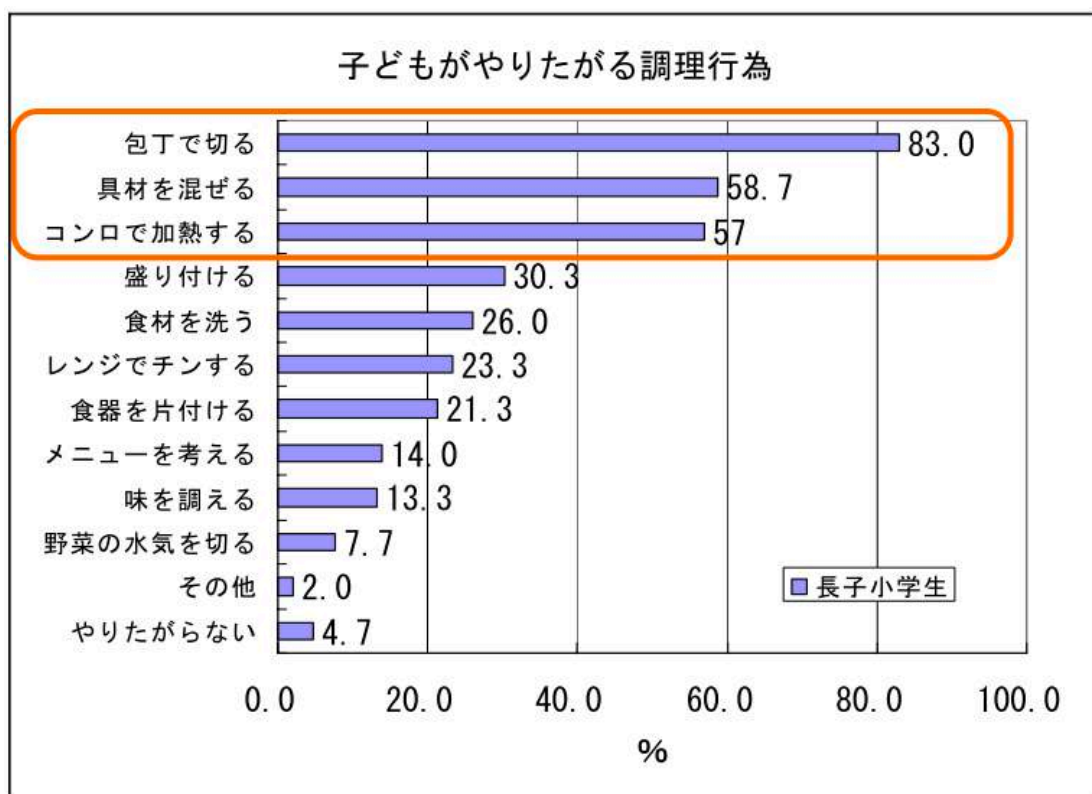


図 6 子供がやりたがる調理作業[5]



イモのから返ってくる力を頼りに、ジャガイモが非利き手側に転倒せず、利き手側の包丁で力をかけた時に包丁側に転倒しないちょうど良い力でジャガイモを支えなければならない。また、ジャガイモを切るために包丁で無理に力を加えるとバランスを崩して、刃が滑り指を切ってしまう危険性があるので、ジャガイモが切れるが、バランスが崩れない微妙な力加減で食材を切らなければならない。切っている最中にも、両手に返ってくる力を頼りに、発揮する力を調整しながら、体を動作させなければならない。このような力加減は具体的に定義されているものではないため、口頭で伝えることが難しい。保護者は、体の動きを示すだけでなく、包丁から返ってくる力を頼りに、どのようなタイミングで、どのように力を発揮するといったかを教えるべきであると考えられる。包丁の使い方など技術を伝達するオーソドックスな方法として、子どもの手に包丁を握らせ、それを保護者が上から握りこんで教えるという手法がある。しかし、この方法では力加減の伝達は出来ない。

この事例から読み取れる、包丁調理の安全教育における難しさは二つある。一つ目に安全教育をする上では暗黙知である体性感覚を教示しなければならないためである。ここでいう体性感覚とは、包丁に対してどのように力を発揮するかといった感覚である。つまり、保護者は、体の動きを示すだけでなく、包丁から返ってくる力を頼りに、どのようなタイミングで、どのように力を発揮するといったかを教えなければならない。体性感覚は、言葉や視覚的に教示する事が難しく、実際に本人が包丁を持って調理を体験し試行錯誤しながら身につける事が一般的である。しかしながら、安全技能の身につ



いていない児童に包丁を把持させる必要があることから従来の方法では、安全を確保することが難しい。

二つ目に、包丁調理時の安全行動の条件が明確に定義されていないためである。このことは、教示者にとって、自らで安全行動を定義し教え方を構築しなければならず、大きな負荷となりうる。また、教示者によって教育する内容がまちまちになり、中には誤った安全行動を教示してしまう場合がある。

児童側の観点から見ると、児童は自己を防衛する本能が強く、ある行為をしていて一度痛い思いをすると、その行動から本能的に離れようとする傾向にある[18]。例えば、児童が調理中に包丁で指を切ってしまったとする。すると、大人がその体験をするよりも強く包丁に対する恐怖心を感じ、以降調理行動への積極的なモチベーションを削ぐ要因となる恐れがある。すなわち、児童が調理行動を継続的に行うためには、安全が確保された上での安全行動習得が重要である。従って、包丁調理の安全行動について定義し、その定義に基づいて、児童が安全を確保しつつ体感的に包丁調理を学習可能な教育ツールが求められる。

本研究では、児童が安全かつ体感的に包丁で切る調理における危険行動を学習可能なシステム KKse(Kitchen Knife Safety Educator)を提案する。本システムにより、切れない包丁を用いて安全を確保しつつ児童が食材に応じた安全な切り方、食材の置き方、支え方を習得することを目指す。KKseは、食材を切った触覚をフィードバックする包丁型デバイスと食材の切り方・力のか

---

け方をセンシングする食材型デバイスと食材の安定度を計測しユーザが正しく食材を支えることができるかどうかを判定する，まな板型デバイスの3つのデバイスを組み合わせることで教育を行う．

本稿では，第2章 で関連研究との比較を通して，本研究の立ち位置を示す．第3章 では，安全な包丁調理を行うために必要な3つの要素を，食材の切り方，食材の置き方，食材の支え方と定義し，KKseを通して教示すべきポイントについて述べる．第4章 では，KKseを構成する，食材型デバイス，包丁型デバイス，まな板型デバイスの設計手法について具体的に述べる．加えて，提案する各デバイスを組み合わせてどのように学習が進むかといったシステム利用の流れを示す．提案するKKseの有用性を示すために第5章 で運用実験の手法とその結果を述べ，第6章 で実験の考察を行い，本稿をまとめる．

## 第2章

## 関連研究

本研究では、安全な包丁調理を学習するための教育システムについて扱うが、本研究以外にも同様の研究は数多く行われている。本研究でも参考にしており、本章では、それらの特徴と本研究との関連について説明する。

### 2.1 調理学習支援システム

調理支援を行うシステムは数多く提案されている。森らは、調理の進行状況をカメラ画像から取得し、食材が調理者からどのような加工操作を受けたかを認識するシステムを提案している[20](図 8,図 9)。コンピュータが調理の進行状況を認識出来るようになることで、調理手順やその他の支援に応用することができる。ShadowCooking[10]はユーザの調理の進行状況に応じてキッチンカウンター上にレシピを手順ごとにガイドするシステムである(図 10)。ShadowCooking はレシピのプロジェクションのみならず、デジタルスケールと連携することによって、必要な材料の分量と、現在投入している材料の分量をリアルタイムで表示し、計量ミスを防ぐ工夫がされている。これらのシステムは、調理初心者を対象にしていらないが、Suzuki らは、初心者

向けのレシピ提示システムについて検討を行っている[24][25](図 11). 初心者がレシピのみからは理解しづらい料理用語について、包丁の食材への切り込み方や動かし方などを具体的にプロジェクションすることで調理初心者の調理を支援する. 本研究では, Suzuki らの研究と同様に対象者を調理初心者としている. 一方で, Suzuki らのシステムでは実包丁を安全に利用できるだけのスキルを有していることを前提に, 実包丁を用いた調理の支援に用いられるシステムであるが, 本研究は, 実包丁の安全利用の教示を目的としているため, 実物体を切ることはできない包丁を用いる. また Suzuki らのシステムでは視覚的・聴覚的な支援のみからなる. これに対して Suzuki らは調理初心者向けのシステムの課題として, 初心者が安全に調理を行う上で, 視覚的・聴覚的に 伝達することのできない感覚を教示することができない点を挙げている. この課題に対して, 本研究では, 調理を行う際に視覚的聴覚的に伝えることのできない感覚, 例えば, 食材を切っている時の反力や振動といった触力覚を教示することを目指している.

さらに調理を行うにあたって, 本研究と同様に安全な調理に着目しているシステムもある. Cutting Edge Vision[21](図 12)は, 実包丁の内部に光ファイバーを通し色の判別をすることで, 刃先に指が触れているかどうかを判定, 刃先に指が触れている時には, 包丁の刃が跳ね上がる. こうすることで, 包丁の調理中に, 包丁で指を切る怪我を防ぐことが出来る. Cutting Edge Vision は, 安全性を保ったまま実包丁を用いた調理を実現することができる

点で、調理初心者の調理練習を行う際に有用であると言える。しかしながら、学習者が身につけることのできる調理のスキルは教示者自身の調理スキルや教え方のスキルによってばらつきが出る。例えば、安全な切り方を教えた時に、何をどのように教えるかは調理指導者の調理の経験に依存する。調理指導者はどのような力加減で食材を支え、どのような切り方をすると安全な調理行動になるかを分析し視覚的・聴覚的な指導のみでの的確に伝達しなければならない。本研究では、安全な包丁調理手法の教示を、調理教示者の教示スキルによらず行うことができる点、また視覚・聴覚的な指導に加えて調理者がかけた力を分析することで、正しい力のかけ具合の教示を行うことができる。このような視覚的・聴覚的に伝達の難しいスキルの伝達に関する研究については2.2で述べる。

子供が使う玩具にマジックテープタイプのままごと用のおもちゃがある[22](図 13)。これは、切れない包丁を用いて、包丁で食材を切る練習をできる点で似ているが、このおもちゃでは、ユーザの切り方までは認識できず安全な調理を教えるというところに至らない。あくまで切断体験や食材形状に類似した物体の把持を体験するおもちゃである。本研究では、センシングデータに基づいてインタラクティブに安全な調理を行うためのスキルを伝達することを目指す。

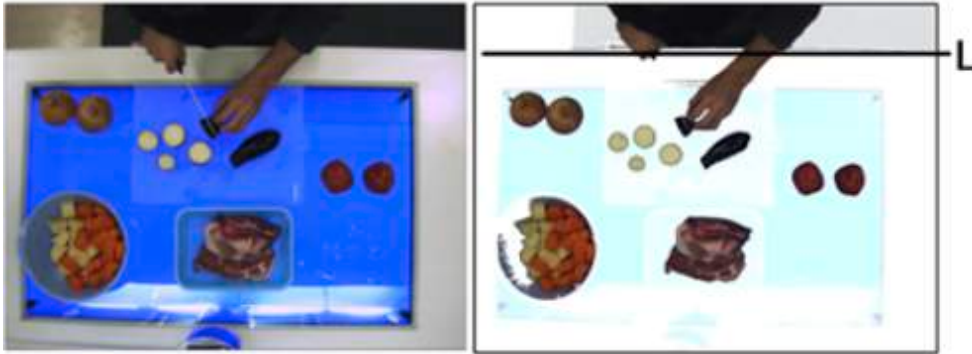


図 8 調理者の手の動きを時空間制約とした調理中の食材追跡

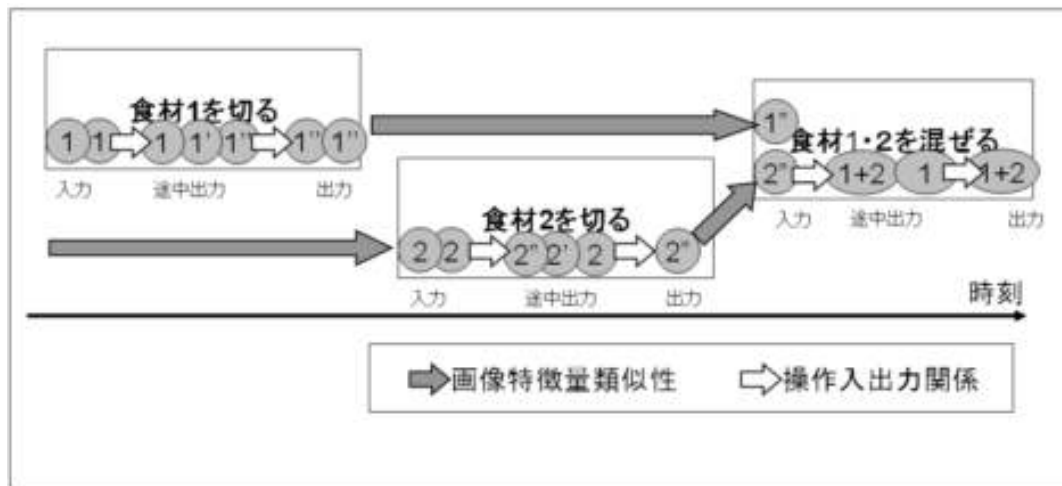


図 9 調理者の手の動きを時空間制約とした調理中の食材追跡[11]



図 10 Shadow Cooking[10]

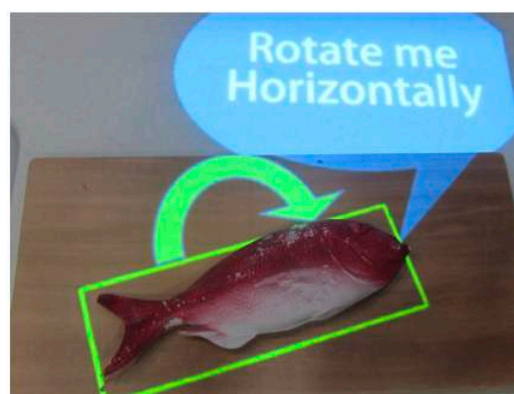
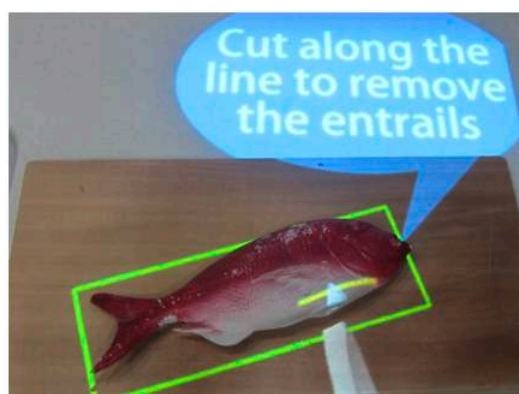


図 11 Cooking support with information projection over ingredient[24]

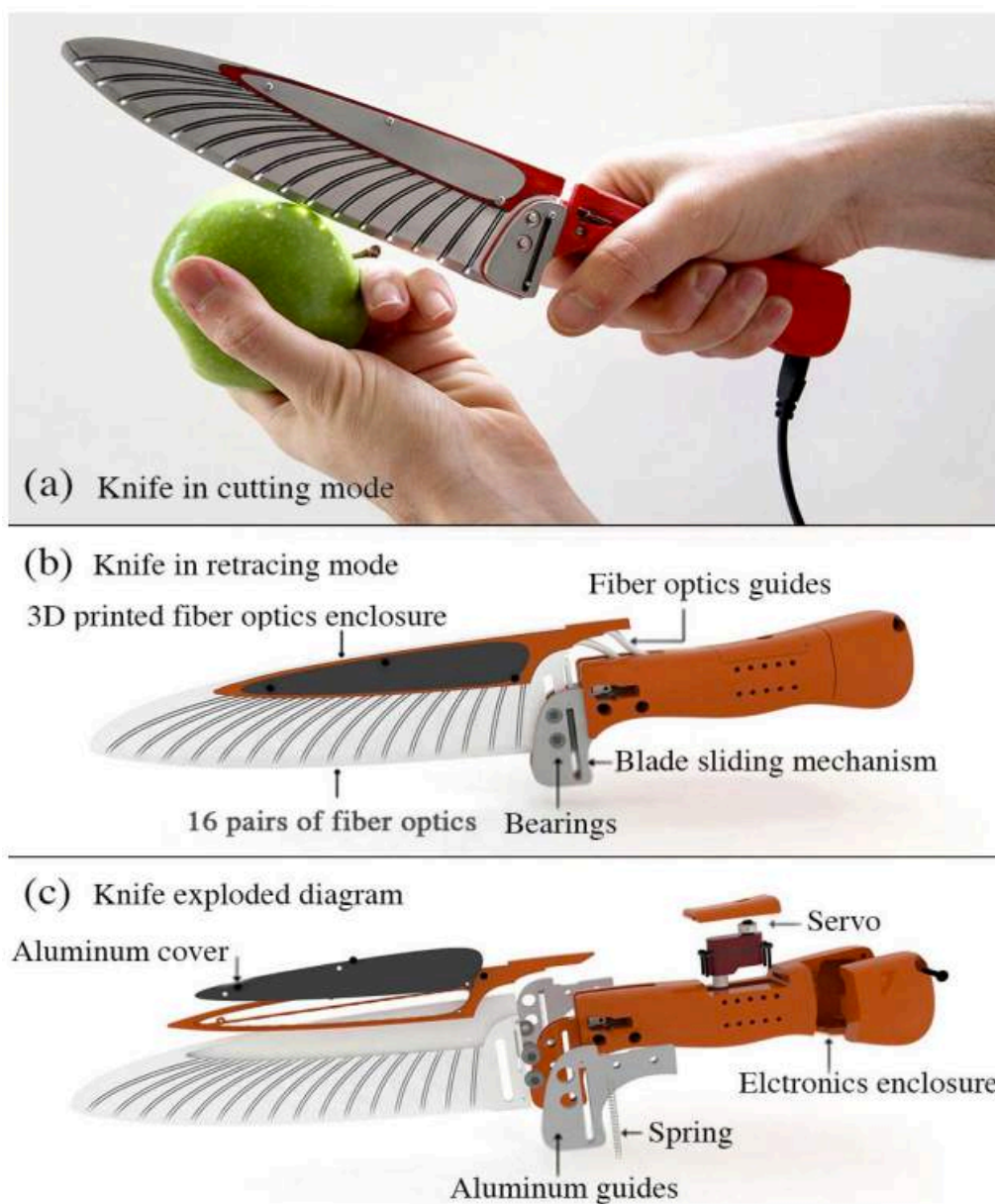


図 12 Cutting Edge Vision[21]





図 13 子供用ママごとセット[22]

## 2.2 スキルの伝達

安全調理学習支援は端的に言うとスキルの伝達である。スキル伝達を行う際、学習者は視覚的に学び取ることでできない技術を認識し身につける必要がある場合がある。このような目に見えないような技術を暗黙知と呼ぶ。暗黙知の伝達にフォーカスした研究はいくつか存在する。例えば、編み物の例をあげる。Smith らは編み物初心者に正しい編み物動作を伝達するための手段として編み針の動作に合わせて音波の高低を変化させるシステムを提案した[12](図 14)。このシステムは編み針の先に加速度センサを設置し、教示者の動作を取得、音波の高低を用いて伝達することで、学習者に、暗黙知であ

る正しい編み棒の動かし方を直感的に伝達する狙いがある。調理に関しても暗黙知の伝達について検討がなされている。太田らは[8] (図 15 図 16) りんごの皮むき動作に関して、熟練者と初心者の包丁さばきを、親指に取り付けた圧力センサと視線計測カメラ、手元を撮影するための小型ワイヤレスカメラ、表面筋電計を用いて比較した。これらの中で初心者と熟練者で差異が観測されたデータで、視聴覚的に伝達が難しい情報として、時間ごとの親指の圧力のかけ方に差異があることがわかった。しかし、太田らの研究は、包丁調理初心者には敷居の高い、りんごの皮むき動作に限定して、調査を行っている。また、技術学習支援システムの概念設計を行うにとどまっている。

体性感覚を教示するためには、ユーザの動作や力のかけ方に応じてインタラクティブにフィードバックを行う必要がある。本研究ではこれらの関連研究を受けて、包丁調理を行う際の圧力分布を取得し、ユーザにフィードバックを行う教育システムにすることで、暗黙知を伝達する教育システムを開発した。



図 14 Exploring Gesture Sonification to Support Reflective Craft Practice[12]

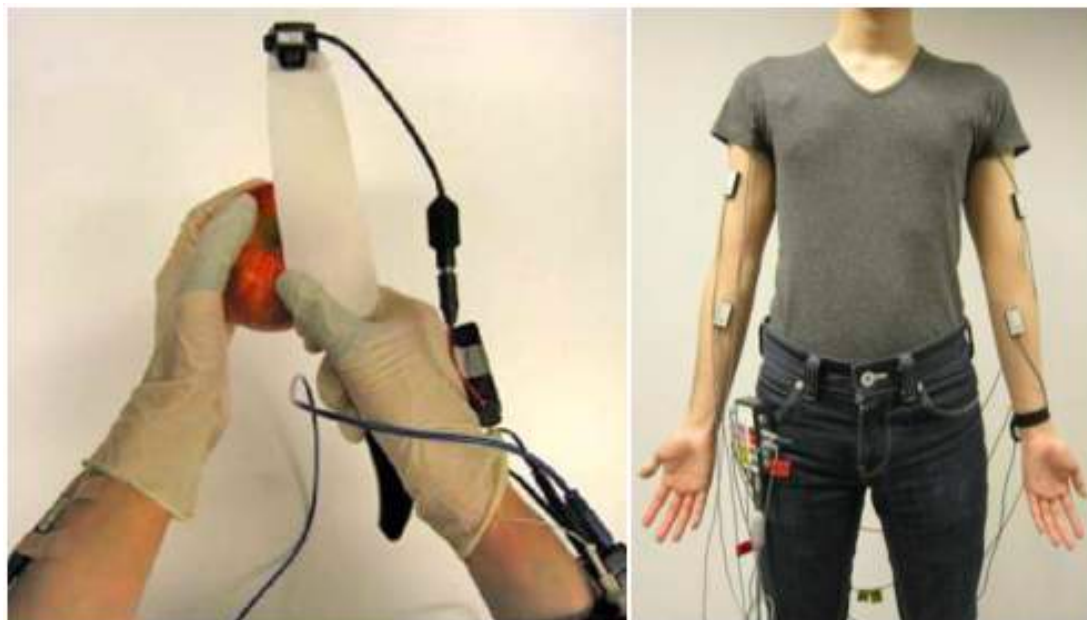


図 15 Comparison of Experts' between Non-experts' Apple Peeling Skills and the Designing  
of Learning Support System[8]



図 16 Comparison of Experts' between Non-experts' Apple Peeling Skills and the Designing of Learning Support System[8]

## 2.3 センシング

これまで、ユーザの調理動作をセンシングする手法としてビジュアルセンシングが多く用いられてきた[10][20][24][25]。しかしながら、ユーザのモーションのみを取得するビジュアルセンシングでは、2.2 章で述べた暗黙知である体性感覚の教示を行うことが難しい。これに対し太田らは熟練者と非熟練者リンゴの皮むき動作を圧力センサや映像から分析することで学習支援システム構築のためのモデルを提案した[8]。太田らの研究から、熟練者と非熟練者で包丁を扱う際の親指の圧力値に差異があることが明らかとなり、非熟練者のための学習支援システムの構築を今後の課題としている。本研究では太田らの研究を参考に、口では伝えることの難しい、包丁を扱う際の利き

手と非利き手の力加減を時間ごとの圧力分布として取得し、システムの構築に生かす。

### 2.3.1 切り方のセンシング

切り方のセンシングとして、皮むきの手法をセンシングするシステムがあるがこれは実包丁を用いて、りんごの皮むきをする際に、親指に圧力センサを取り付け、調理者が親指にどのように力をかけて皮むきをしているかを計測している[8]。本システムでは太田らと同様に圧力センサを用いて動作を刃先の動かし方や力のかけ方をセンシングしているが、圧力センサの位置が包丁の刃先の位置である。このようにすることで、調理者が食材に対して包丁を通して、どのような力をかけているか具体的に取得することができる。

### 2.3.2 静止物体の安定性センシング

安全な包丁調理について議論するにあたって、包丁使いの他に、食材を転倒しないように設置させ、支え手で支えられているかを判定する必要がある。すなわち、外部から動的に力を加えられている静止物体がその状態で安定しているかどうかを判定する機構が必要である。物体の安定とは、外部から力が変わっても、静止状態が大きく変わらないことを言う物体の安定性の計測を行うためには様々な機器が存在する。人の直立姿勢の安定性を計測するには重心動揺計という計測機器を用いる[23]。これは、下面に設置された、3つの垂直荷重センサの荷重値から、垂直荷重の作用中心点(COP)を求

めている。しかしこのシステムでは重心位置は取得できるものの底面の面積の大きさを取得することができない。つまり物体が静止しているか、どの程度動揺しているかを計測することはできるが、その物体がどの程度安定しているのかを測ることはできない。これに対して、歩行型ロボットの安定性を計測し、行動計画を立てるための指標に ZMP(Zero Moment Point)を用いている[26],[28]。ZMP とは、物体の加速度と垂直抗力との合力と床面との交点を言う[27]。ZMP が物体の接地面を結んだ幾何形状の内部に存在するかどうかで安定度を判定し、安定していない場合には、ロボットの重心や踏み出す足の方角を調節することで安定した歩行を実現している。これらのシステムでは、2足歩行ロボットの床と接地する足裏面に圧力センサを接地し、足裏面積を既知として床面と接触した各点の圧力分布から、物体の安定度を求めている。本研究では、様々な形状の物体に対して、安定度を求めるため、安定度を求めたい物体にセンサを設置するのではなく、床面の圧力分布を取得し、荷重のかかっている部分の面積を接地底面積として、ZMP を求めることで、上面に置いた物体の安定度を計測する。このようにすることで、上面に乗せる物体に関わらず、安定度を計測できる点、外部から加えた力も含めて安定度を取得することが可能になる。こうすることで、ユーザが様々な食材を支えた時に、安定しているかどうかを判定出来るため、汎用性が高い。

また本研究では、圧力の分布を取るために Han らの提案した

FTIR(Frustrated Total Internal Reflection)マルチタッチディスプレイを採用した

[29]. FTIR タッチディスプレイは、アクリル板内で赤外光を全反射させた状態で、アクリル板に触れると、屈折率の変化により、アクリル板外に光が漏れることを応用し、アクリル板底面から赤外線カメラで、漏れ出した光を取得しタッチ面を認識するタッチディスプレイを言う(図 17). これを用いることで光学的に物体形状と圧力分布を求めることができる. 圧力センサと比較して、解像度が高いものを安価に作り出すことができる点が優れている.

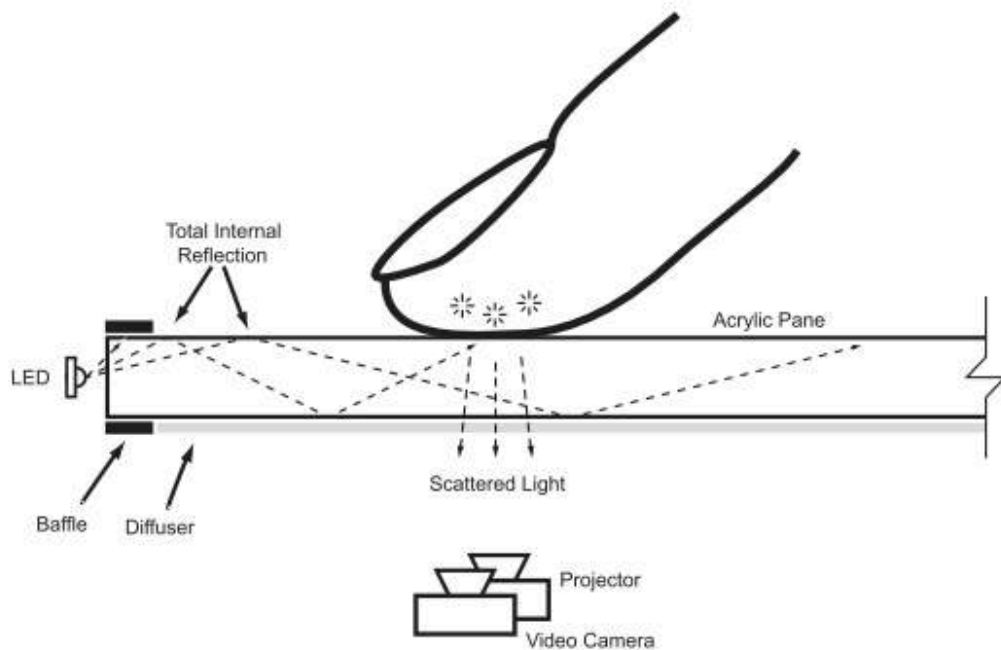


図 17 Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection[29]



## 2.4 フィードバック

2.3 章で判定した結果を元に、その正誤を直感的に伝達するためのフィードバック手法について検討する。Smith ら[12]は、ユーザの不可視な体性感覚を、伝えるために音波の高低を用いた。この研究では、非熟練者に編み物を教示するためのツールとして、編棒の加速度を音声の高低に変換することで、熟練者の編棒動作の音波を聞きながら、非熟練者が直感的に編棒の動作を学習するためのデバイスである。このように視覚的には教示が難しい動作を他の器官で知覚可能な Feedback に変換することで、学習者への学習効果向上が期待される。本研究では、2.3 節で述べた通り、触力覚をセンシングする、ここで聴覚フィードバックでは力加減を理解しづらい。ユーザに正しい力加減を理解させるためには、迂回な手段を用いずに実世界と同様に触力覚をフィードバックすることが求められる。

そこで、本研究では、触力覚フィードバックにより力感覚の学習を行う。包丁型デバイスのように刃物形状の触力覚フィードバックに関する研究は幾つか行われている[13],[19]。それらの多くが、手術シミュレーションに関わるものであり、ナイフを横にスライドさせ人体を切るメスと包丁を用いて食材に切り込んでゆく調理動作とは、刃物の形状や扱い方が根本的に異なる(図 18)。Arisandi ら[13]は道具の利用方法を直感的に示すために、HMD と触力覚を融合して Feedback を行っている(図 19,図 20)。しかし、彼らのシステムでは、切っているという状況を振動で提示しているため、反力を正確に表現することが難しい。そこで、本研究では、物体に切り込んでいく際の



---

触力覚や反力を再現できる，包丁型デバイスを提案する．形状が実包丁と同様の形状をしていることで，学習者に対して食材を切るという行動をアフォード出来る，反力を教育の意図に合わせて自由に変形できる，切断対象物体の形状変化がないなどの利点がある．本研究では，圧力センサで食材の安定性と包丁の刃先にかかる力を計測して，包丁で切った触覚をフィードバックする MR 教育システムを提案する．

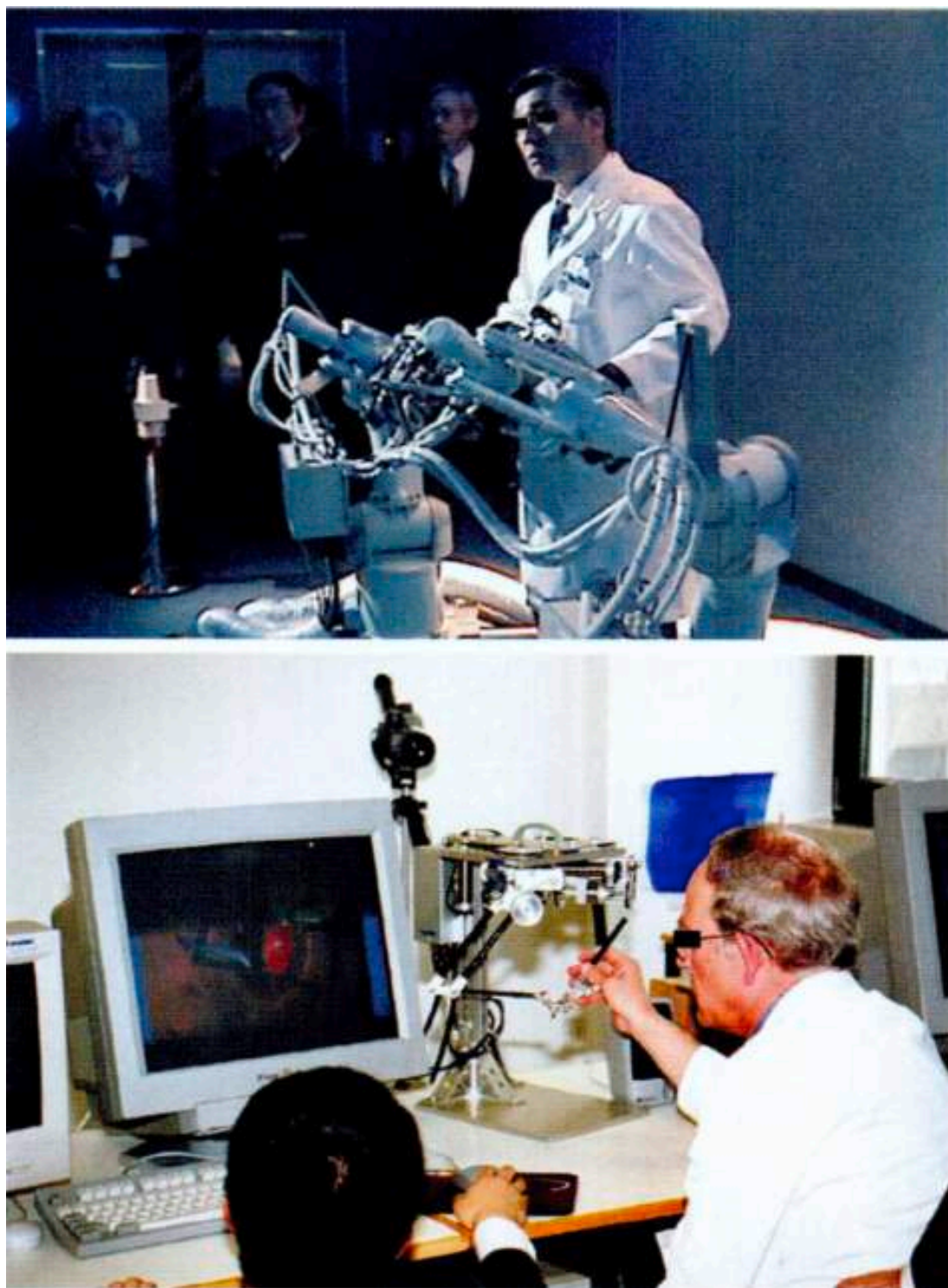


図 18 バーチャルリアリティ技術を援用した手術シミュレーション[19]

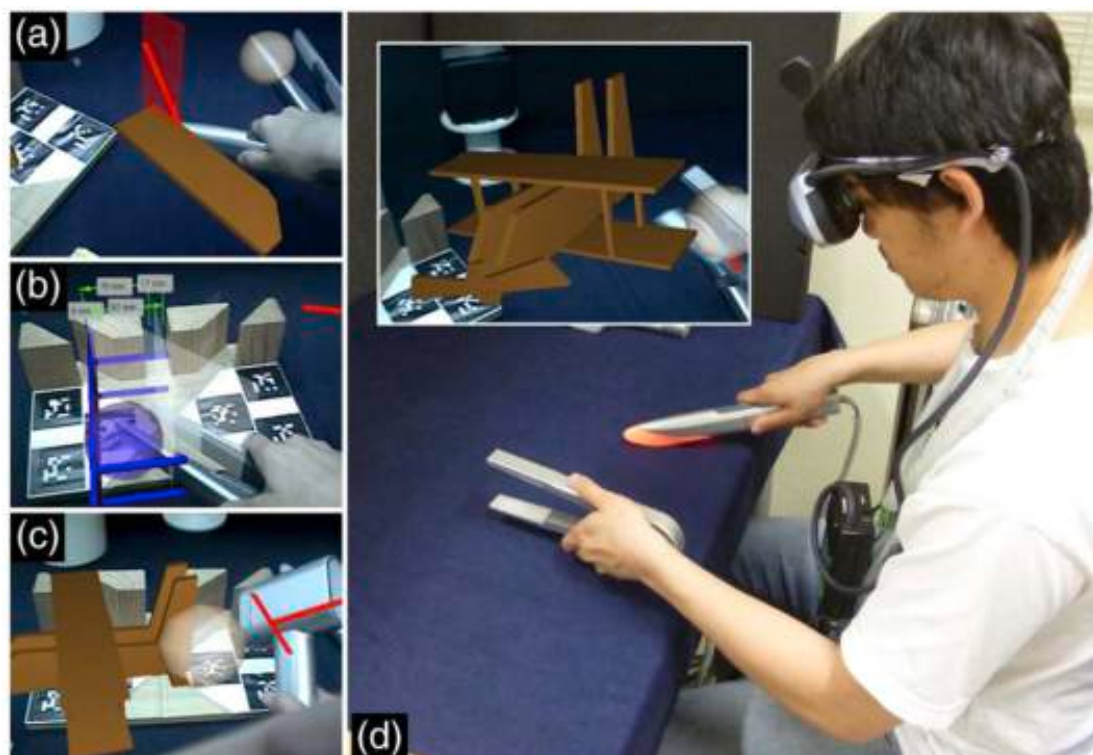


図 19 Virtual Handcrafting[13]

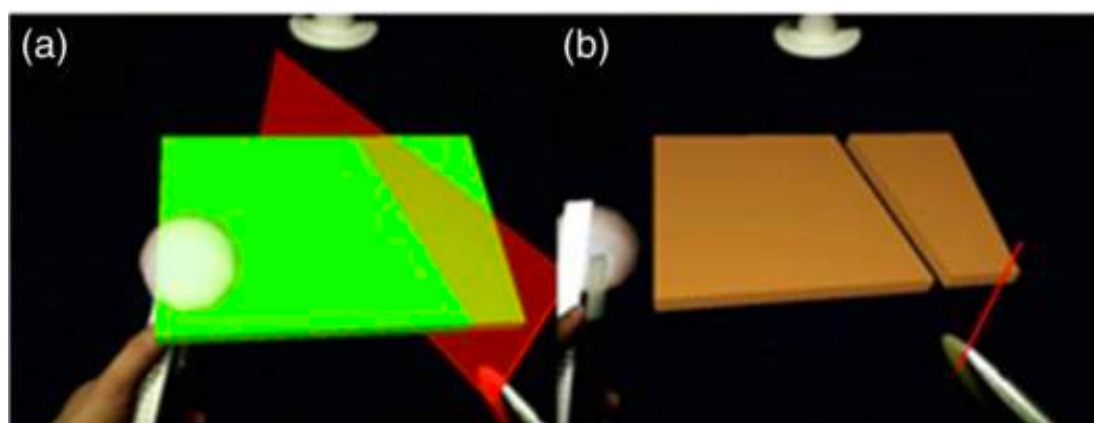


図 20 Virtual Handcrafting[13]

## 第3章

### KKse

本研究では、先に述べた通り小学校低学年以下の児童に対して実包丁を用いずに安全な包丁操作をより容易に教育することを目的としている。この章では、安全な包丁調理行動を具体的に定義し、提案システムを通して、何を伝えるのかを明確にする。さらに、提案システムはこれまでの教育法と大きく異なる部分として、視覚的な伝達や、口頭での伝達のみでは伝わりにくい力加減についても伝達できるような新しいシステムを目指す。

従来、家庭における安全な包丁操作の教育では、保護者が児童の目の前で実際に食材を切りながら口頭で切る方法を説明する手法をとっていた(以降、口頭教示法と呼ぶ)。本稿では従来の口頭教示法に加えて、実包丁を用いる前段階に利用することで、学習者が安全な包丁調理操作手法の理解を助けるシステムとして KKse (Kitchen Knife Safety Educator) を提案する。KKse は食材型デバイス、まな板型デバイス、包丁型デバイスからなるシステムである(図 21)。各デバイスは、センシングデバイスとフィードバックデバイスの二つに分類される。食材型デバイスとまな板型デバイスはユーザの包丁調理動作をセンシングし判定するセンシングデバイスである。包丁型デバイ

スは実際には切ることができないが、切った触覚をフィードバックすることができる、また KKse は視覚・聴覚的に切れた状況を提示する機能も兼ね備える。センシングデバイスでユーザが安全調理を行っているかどうかを判定し、フィードバックデバイスで切れた触覚、上手く切れない触覚を提示することで、ユーザは直感的に、安全調理を学習することができる。

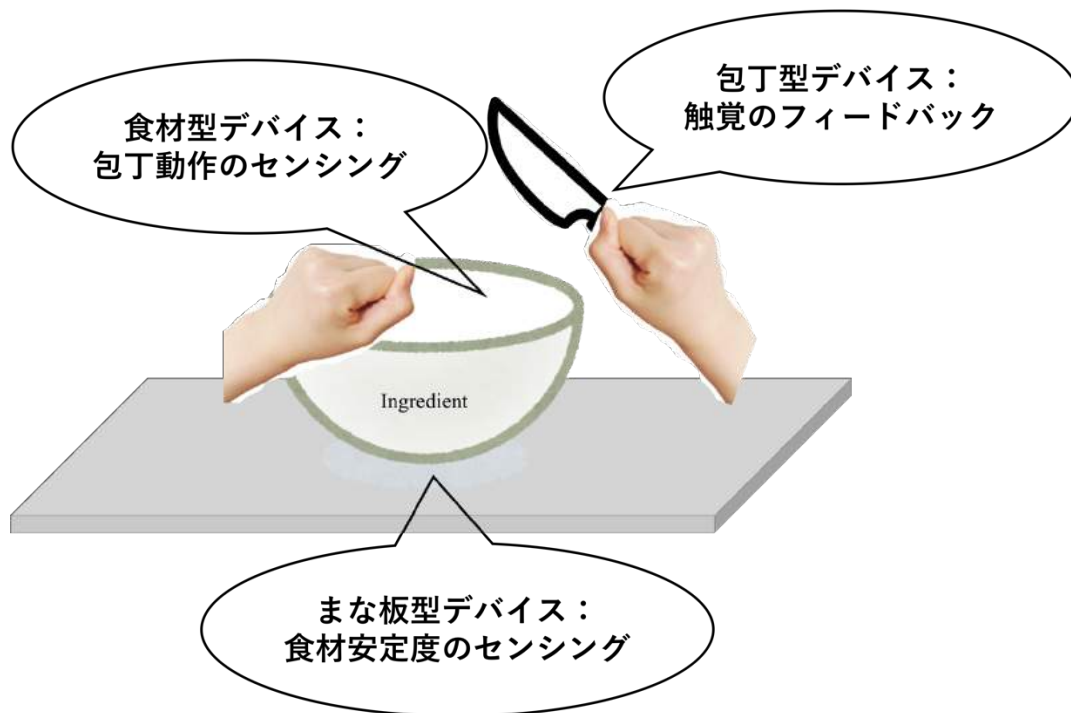


図 21KKse 全体像のイメージ

### 3.1 安全な包丁使い

安全な包丁使いの教育を行う上で、包丁を扱う際の安全行動を定義することは非常に重要である。包丁を利用している際に想定される事故は、包丁を

使用中に誤って操作者自身の指先を切ってしまうケース，置いてある包丁に接触し体を怪我してしまうケース，置いてある包丁に接触し包丁が落下したことにより足などを怪我するケースなどが考えられる．本稿では最も起こる確率の高い，包丁の切っ先がバランスを崩して，指に触れ操作者に外傷を及ぼすことを避けるための安全な使い方を教示することと定めた．

一般に，安全な包丁使いというと，「手を猫の手にして食材を支える」という文言を耳にする[14]．しかし，児童が猫の手を守っていたとしても，はたから見ているとヒヤヒヤとするシーンは多くある．多くの場合，そのヒヤヒヤする切り方のどこを直すように指示すれば良いのかが明確にわからない．

静岡県家庭科の安全教育指導案[30]では，安全な包丁使いとして，下記の3点に言及している．

1. しっかりと包丁の柄を握る(図 22)
2. 指先を丸め，包丁に添わせる(図 22)
3. 食材を安定させて切る(図 23)

1.しっかりと包丁の柄を握るは，包丁が滑らないように安定させ，かけた力を包丁に十分に伝える狙い．2.指先を丸め，包丁に添わせるは，指先を露出させないことで，刃先が指先に接触し指を切る危険性を防ぐ狙い，また，刃の側面を支え手に添わせることで，包丁を滑らず安定させる狙いがある．3.食材を安定させて切るは，包丁で力を加える食材が不安定で，突然転倒し力のコントロールが効かなくなった包丁が指先などを切ってしまう事防ぐ

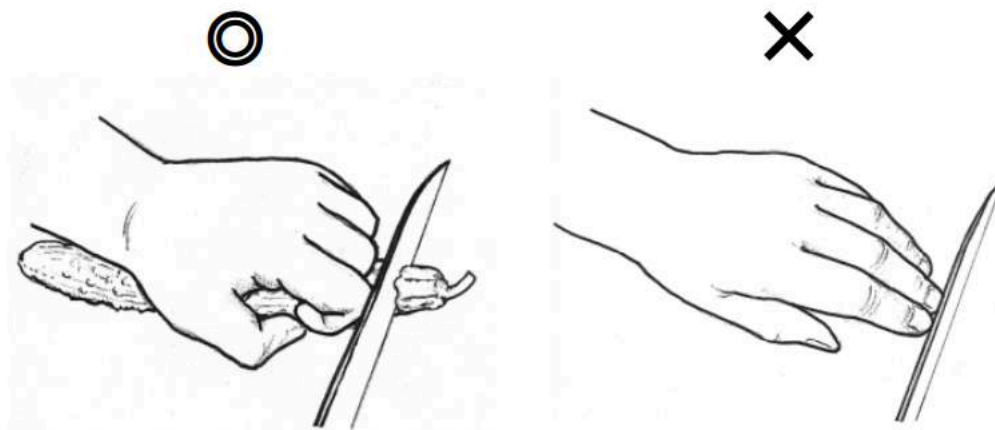
---

狙いがある。上記の狙いから、包丁食材ともに、急な転倒が起こらないように安定させて、食材を切ることが重要であることがうかがえる。



**包丁の扱い****◆持ち方**

- ・どちらの持ち方でも、しっかり柄を握る。

**◆切り方・皮のむき方**

- ・指先を丸めて、包丁に添わせる。

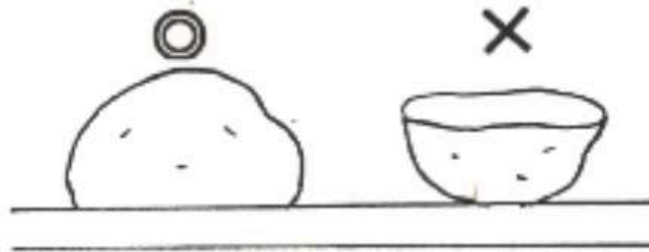


- ・皮むきも慎重に。包丁に添えている親指で力の調整をする。
- ・親指がハの字になるようにするとよい。

図 22 安全な包丁使い[30]



## ◆食材の置き方



- ・食材を安定させて切る。
- ・安全で効率のよい切り方を考える。

図 23 安全な包丁使い(2)[30]

また、包丁には様々な正しい切り方が存在する。正しい切り方を身につけることで、食材をおいしく調理することができるのみならず、安全に調理することが可能になると考えられる。児童が包丁を用いた調理をする際、包丁を通して食材に加える力は、成人の力よりも大きくなっている[15]。この調査では、包丁から加える力をまな板への荷重値で代替しサイズの異なる幾つかの包丁を用いて計測を行っている(図 24)。ここから、児童は包丁に対して余分な力をかけていると推察される。人間は発揮できる力以上の力を出力しようとする、力の方向や速度を正確にコントロールできなくなる。特に身体の小な児童が発揮しコントロール出来る力は成人の力に比べて小さい。包丁操作に関しては、力のコントロールが出来なくなると、誤って指を

切るなどの危険が伴う。包丁操作者が同様の包丁でより小さな力で食材を切るには、切り方や力のかけ方を工夫する必要がある。これについて、図 25 からわかるように押し下げ切りと比較して、押し出し切りは筋活動が約 40%低くなるという報告がある[7]。ここで、押し下げ切りとは、刃先を食材に対して水平に当て、そのまま真下に力かける切り方である。押し出し切りとは、図 26 のように食材に対し刃先を斜め下に当て、前方にスライドさせながら徐々に刃を水平にし切り降ろす切り方である。したがって、児童が正しい押し出し切りを学習し理解する事で、自身がコントロール出来る範囲の小さな力で包丁を扱う事が出来るようになり、児童が安全に調理を出来るようになる。

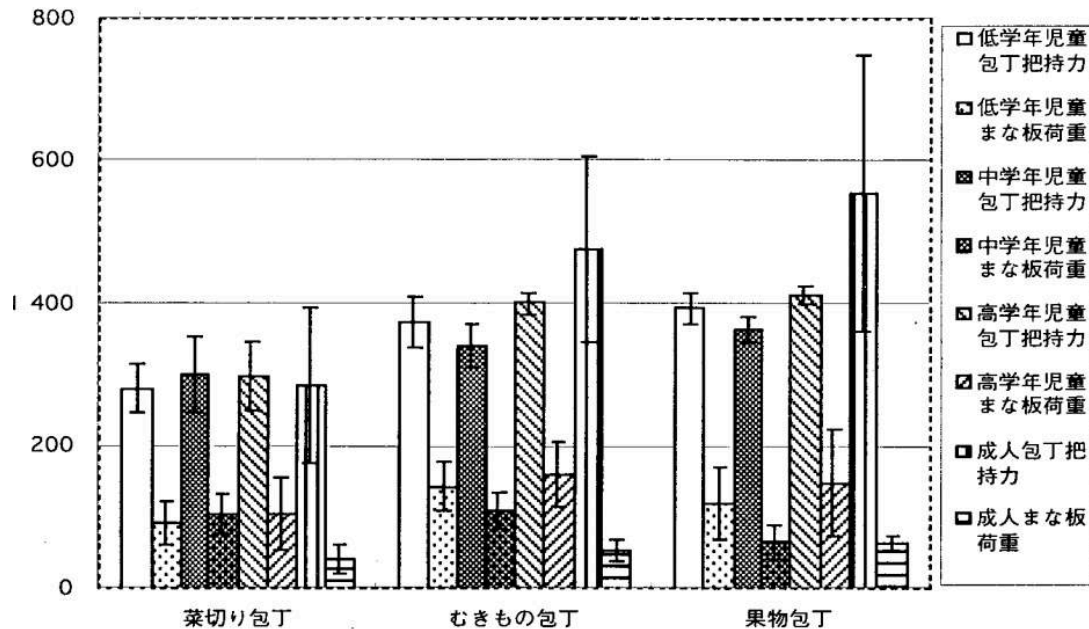


図 24 年齢別包丁別包丁把持力とまな板荷重の比較[15]

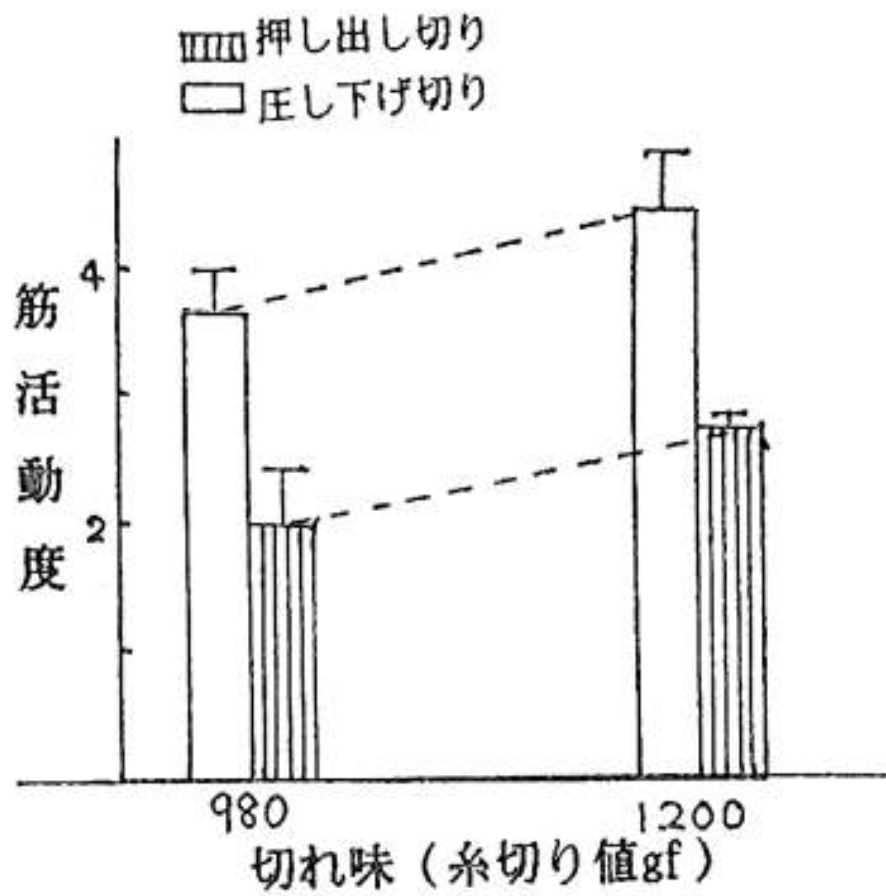


図 25 切り方と筋活動の関係性[7]

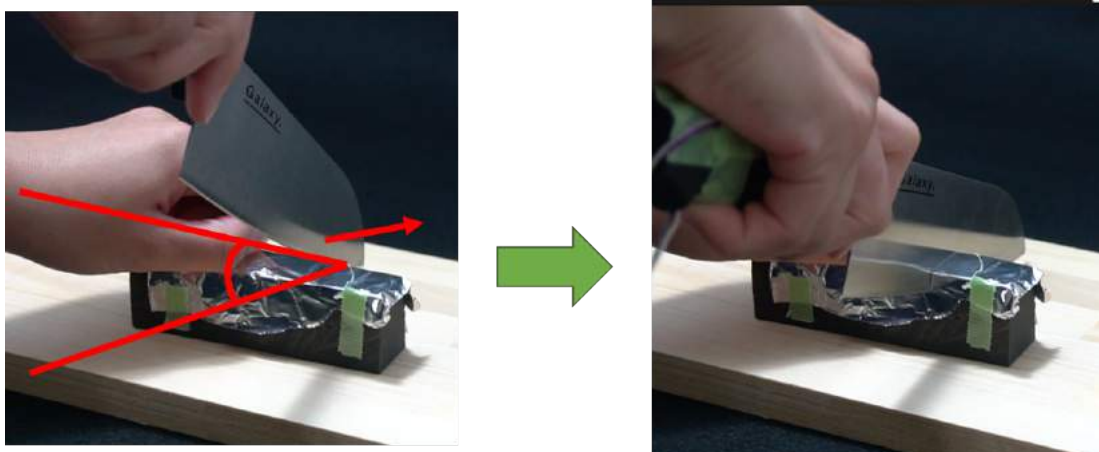


図 26 押し出し切り

これらを踏まえて、このような事故を防ぐためには、切る対象である食材、力を加えている包丁の両方が安定し急に動作することがないこと、押し出し切りを身につけることで、無理な力を出力せずに食材を切ることができるようになることの2つが重要である。本稿では、この2点を教育指針とする。

教育指針1. 押し出し切りの切り方

教育指針2. 食材の安定な置き方・支え方

## 3.2 包丁使いの教育手法

一般的に、家庭において保護者が児童に包丁使いを教示する際には、下記の3つの手法を組み合わせて教示を行う。

1. 実際に切っている様子を見せる(視覚教示)
2. 口頭で切るときのコツを伝える(口頭教示)
3. 包丁を握った子供の手を保護者が上から握り動作を伝える(動作教示)

これらの手法は視覚的・聴覚的な教示にとどまり、実際に、食材を切るとき支えるときの力加減を伝達することは出来ない。

3.1 で述べた、2つの教育指針を教えるためには、食材を安定して支えるための力のかけ方や押し出し切りを行うときの反力に応じた刃先の力加減を教えなければならない。このような力加減を上記3つの手法で教えることは難しい。

### 3.3 教育指針の実現方法

2つの教育指針は包丁を持つ利き手の扱い(教育指針 1)と非利き手の扱い(教育指針 2)の 2つに分類できる。以下の節では、2つの教育指針の教育を具体的に提案システム KKse でどのように実現するかについて述べる。

#### 3.3.1 利き手の扱い

この節では、利き手の扱いすなわち、包丁を持った手で押し出し切りを行う方法の教示をどうやったら実現するかについて述べる。押し出し切りを実施する際のポイントは 3つに分けられる。

利き手扱いのポイント1.      刃先を斜め下にして構え、動作終了後に刃が水平に成るように切り下ろす

利き手扱いのポイント2.      操作者から見て前の方に刃を押し出す

利き手扱いのポイント3.      状況に応じて、力加減を調節する

学習者は、切る動作の中で利き手扱いのポイント 1、利き手扱いのポイント 2 をタイミング良く行う必要がある。また、包丁からフィードバックされる力を頼りに利き手扱いのポイント 3 を行わなければならない。

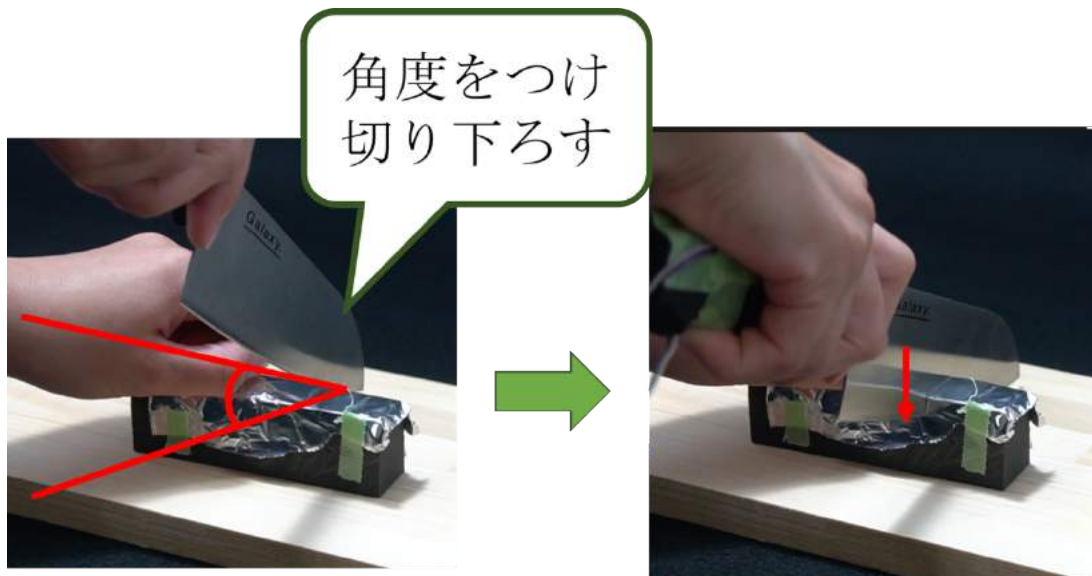


図 27 利き手扱いのポイント1

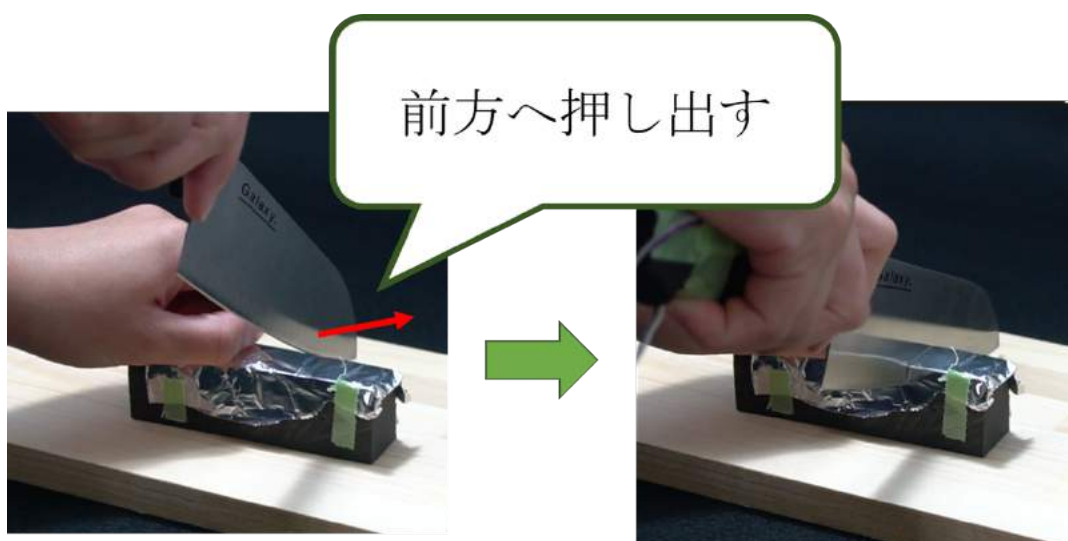


図 28 利き手扱いのポイント2

教示システムでは3つのポイントを学習者が正しく実現できているのかを判定し、その正誤に応じてフィードバックを返す必要がある。押し出し切りの3つのポイントを判定するためには、

判定のポイント1. 時間ごとの刃の傾き具合の変化

判定のポイント2. 刃がタイミング良くスライドしているかどうか

判定のポイント3. 刃先への力のかけ具合

の3つを取得し、判定しなくてはならない。KKse では手始めに判定のポイント1のみを実現する。

包丁にマーカーを設置しビジョンセンサを用いて包丁の動きを取得し分析すると、判定のポイント1、判定のポイント2の判定を実現することができる。しかし、本研究は家庭で簡易に使うことの可能な調理教育ツールを開発することを想定しているため、設置位置を選びキャリブレーションを必要とするビジョンセンサを利用することを避ける。また、最終的に判定のポイント3の刃先への力のかけ具合までを取得するシステムとなることを想定して、圧力センサを用いて、力分布の変化から判定のポイント1の時間ごとの刃の傾き具合の変化を取得することとする。

本研究では、刃先の圧力の時間変化から切るときに包丁を通してユーザの刃先の動きを取得し押し出し切りを正しく行うことができているかを判定する食材型デバイスと、実際には物を切ることができないがユーザ動作に応じて切った触力覚をフィードバックする包丁型デバイスを提案する。この触力覚をフィードバックする機構は、第1章 で述べた「安全を確保しつつ、体感的に学習を進める」上で必要な要素である。

### 3.3.2 非利き手の扱い

この節では、非利き手の扱いすなわち、食材を支える手で食材を支え切っている最中に食材を安定させる方法の教示をどのように実現するかについて述べる。食材の安定把持を実施する際のポイントは3つに分けられる。

非利き手扱いのポイント1. 状況に応じて、力加減を調節する

非利き手扱いのポイント2. 食材がより安定する向きで置く

非利き手扱いのポイント3. 指先を露出させないように支える

学習者は、食材からフィードバックされる力を頼りに非利き手扱いのポイント1を行わなければならない。また非利き手扱いのポイント2食材形状から、より安定する方向はどちら側なのかを判断し接地させなければならない。教示システムでは3つのポイントを学習者が正しく実現できているのかを判定し、その正誤に応じてフィードバックを返す必要がある。食材の安定把持の3つのポイントを判定するためには、

判定のポイント1. 非利き手で食材を支えた状況の、食材の安定度

判定のポイント2. 指先が刃先に触れていないか

の2つを取得し、判定しなくてはならない。

判定のポイント1を実現するために、KKseでは2.3.2で述べたZMPの考え方を応用して実現する。食材接地面の圧力分布を取得し、食材接地面の幾何重心とZMPを測定し、その位置関係から安定度を計測する。上面に乗せる物体に関わらず、安定度を計測できる点、外部から加えた力も含めて安定



度を取得することが可能になる。こうすることで、ユーザが様々な食材を支えた時に、安定しているかどうかを判定出来判定を実現することができる。

判定のポイント2を実現するために、包丁の刃先と指先を導体とした、回路を作ることで、電流が流れた時には、指先と刃先が触れたと判定することができる。

KKse では、接地底面の圧力分布を取得し安定度を判定するまな板型デバイスを実装する。また、包丁の刃先と指先との通電については、4.2 で詳しく述べる。

### 3.4 解決方法の選定

口頭教示のみで安全な包丁調理を教示する場合と KKse による教示を付加した場合を比較する。口頭教示法は動的な教示が可能かつ、実際に動作を見て学ぶことができるため、児童にとって食材を切る動作を想像しやすいと言える。一方で、児童に提示する情報が視覚情報のみであるため実際に調理動作を行うときに発揮するべき筋力を伝えることが難しい。さらに指導者によって教え方にばらつきが出るという特徴がある。KKse は、これらの課題に対し、ユーザが支え手や包丁から食材に対してかけた力をセンシングし、インタラクティブにフィードバックを行うため、ユーザが自身の行った包丁の調理操作から調理結果に及ぼす影響を理解しやすい。例えば、食材を切る際に、包丁を前後にスライドさせ押し下げる場合と、スライドさせない場合

---

では、食材を切るのに必要な力が異なる。スライド動作が、食材を切る際の反力に及ぼす影響を口頭で伝達することは難しいが、KKseを用いることでユーザは直感的にその違いを理解することができる。さらに、本システムではこれまで定義の難しかった安全な包丁調理を定義し、センシングデータを用いて教示を行うため、指導者ごとで教え方のバラつきがなく安全行動を教育することが出来る。

## 第4章

# システム設計

### 4.1 食材型デバイス

食材型デバイス(図 29)は、ユーザが利き手を用いて教育指針 1 押し出し切りの切り方を正しく行うことができるかどうかを判定するためのデバイスである。具体的には時間ごとの刃の傾き具合の変化を圧力センサの力分布の変化から 3.1 で述べた、押し下げ切りを誤った切り方と定義し押し下げ切りと押し出し切りのどちらの切り方を行っているかを判定する。

この時に、外部のモーションセンサではなく、圧力センサを用いることで、ユーザの動きを、外部機器なしにより小さなスペースかつより安価・簡易に取得することができるようにした。

提案システムでは刃先にかかる力の分布を取得することができるので、システム開発が進めば、刃先の力の分布から食材の切れ方をシミュレーションし、フィードバックシステムに活かすことで、視覚的に取得できない、力のかけ方の誤差についても教示できるようになると予想される。

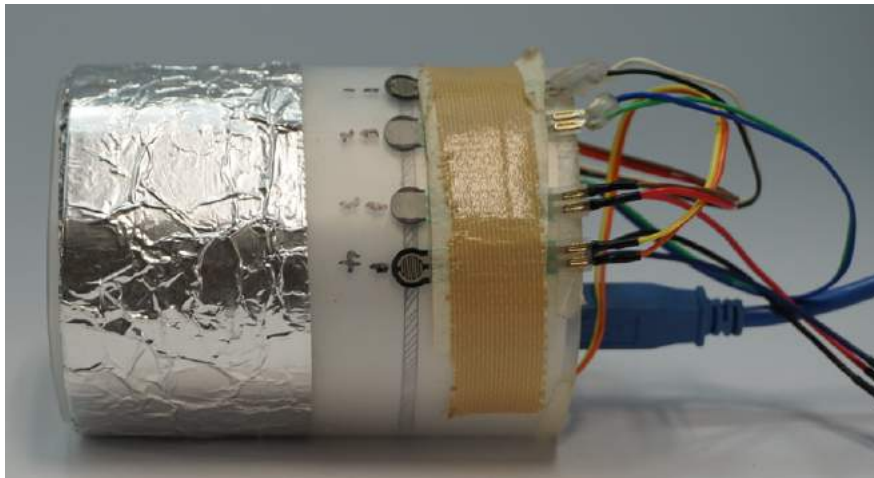


図 29 食材型デバイス

#### 4.1.1 デバイス構成

ハードウェア構成図を図 30 に示す．食材デバイスは学習者の刃の傾きの変化を取得する圧力センサシートとそれを制御するためのマイクロコントローラー，判定結果から視聴覚フィードバックを担当する PC からなる．

円筒形状の剛体の表面に，圧力センサを mm 間隔で 4 つ 1 列に配置する．学習者がこの圧力センサ列の上から包丁型デバイスで力をかけるとで，力のかかるタイミングから，切り方を判定する．圧力センサには Interlink Electronics 社のシート型圧力センサ FSR400[31]を用いた(図 31)圧力センサの仕様の詳細を表 1 に示す．この圧力センサシートは薄く，円筒形上剛体の表面に密着するため，形状を損なわずに測定が可能である．マイクロコントローラーには Arduino Uno[32]を用い，PC は MacBook Pro (Retina, 15-inch, Mid 2015)を用いた．

食材型デバイスの外形は、事前調査の結果から、円筒形状を用いることとした。事前調査は、ネットスーパー[33]上で販売されている野菜類の形状を、球形、円筒形、円錐形、葉物系に分類した。分類の結果を表2に示す。最も種類の多い形状は葉物形状であるが、葉物形状の食材は平たく、3.1で述べたような、食材が急に転倒し指を怪我するような怪我を想定しづらい。また、包丁で、切るのではなく、手でちぎるといった調理操作をする可能性も考えられる。球形と円筒形が同数で、次に種類数が多い。ここで、円錐形が円筒形よりも難易度の高い部分集合であると考ええると、円筒形状剛体の支え方を学習することで、円錐形上にも応用が可能であることから、本研究では、円筒形上剛体を食材型デバイスの外形として用いる。

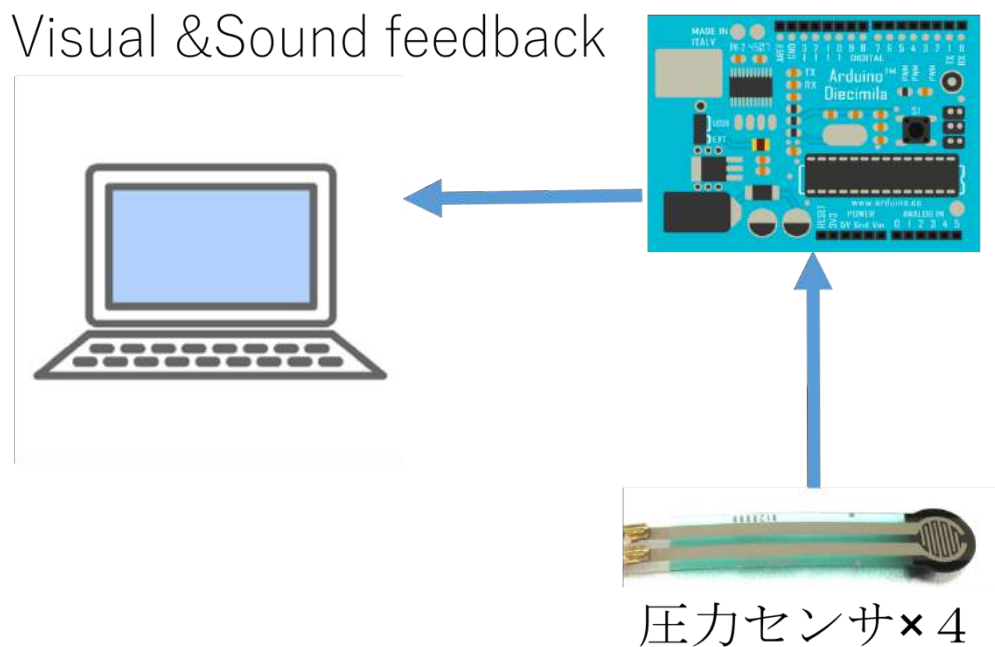


図 30 食材型デバイスハードウェア構成



図 31 圧力センサ FSR400

表 1 圧力センサの性能

作動力	0.1N
感圧範囲	0.1～20N
無荷重時	10M $\Omega$ 以上
作動回数(寿命)	1,000 万回以上
有効センサ領域	直径 5.08mm
厚さ	0.35mm

表 2 食材形状分類表

形状	球形	円筒形	円錐形	葉物形
個数	10 種	10 種	9 種	14 種

#### 4.1.2 判定アルゴリズム

押し出し切りの判定アルゴリズムについて述べる．始め刃を斜めに入れることから包丁の刃先と食材は，図 32 の圧力センサ 1,2,3,4 の順に接触する．これを利用して，時間ごとの各点の圧力値を取得し分析することで，正しい

包丁操作を行っているかを求める。圧力センサは包丁の刃先にかかっている力とその位置を得るために用いる。事前の実験で、押し下げ切りと押し出し切りを行った場合の時間ごとの圧力変化のグラフを、図 33 に示す。グラフからわかるように、押し出し切り時と押し下げ切り時で、包丁の刃先と、食材との圧力値の時間変化が異なる。グラフの圧力センサ 1,2,3,4 は図の圧力センサ 1,2,3,4 と対応しており、押し出し切りをした時には、児童から見て最も奥側に配置されている、圧力センサ 1 と圧力センサ 2 が時間経過に応じて、順次に反応する。一方で、押し下げ切りをした際には、押し出し切りでは反応しなかった、圧力センサ 3 が反応していること、また、圧力センサ 1 には圧力がかからず、操作開始時、圧力センサ 2 から力を検知していることがわかる。

そこで、圧力センサ 1 を押し出し切り開始のトリガとし、その後一定角度サーボモータが回転したことを検知すると、圧力センサ 2,3,4 と圧力を取得するように設計した。さらに詳細な判定として、圧力センサ 1 から切り始めていた場合、次に圧力センサ 2 に触れているかを判定することで、包丁を斜めにしたまま維持してしまっていないかを判定している。また、圧力センサ 1 に触れてから、圧力センサ 2 に触れるまでの時間が  $150000\mu s$  よりも長いかどうかを判定することで、簡易的に包丁をスライドしているかどうかも判定するようにした。上記が全て正しく行われている場合、押し出し切りの時間ごとの刃の傾き具合の変化が正しく行われているとした。

ユーザの包丁操作の正誤はマイクロコントローラーからシリアル通信でPCに送信する。PCでは正解の信号を受け取った時のみ、食材画像が切られた画像に変化し、「ザクッ」という音声が再生される。このようにすることで、動作終了をコンピュータが認識したことを学習者に伝えるとともに、視覚的・聴覚的に報酬を提供する狙いがある。

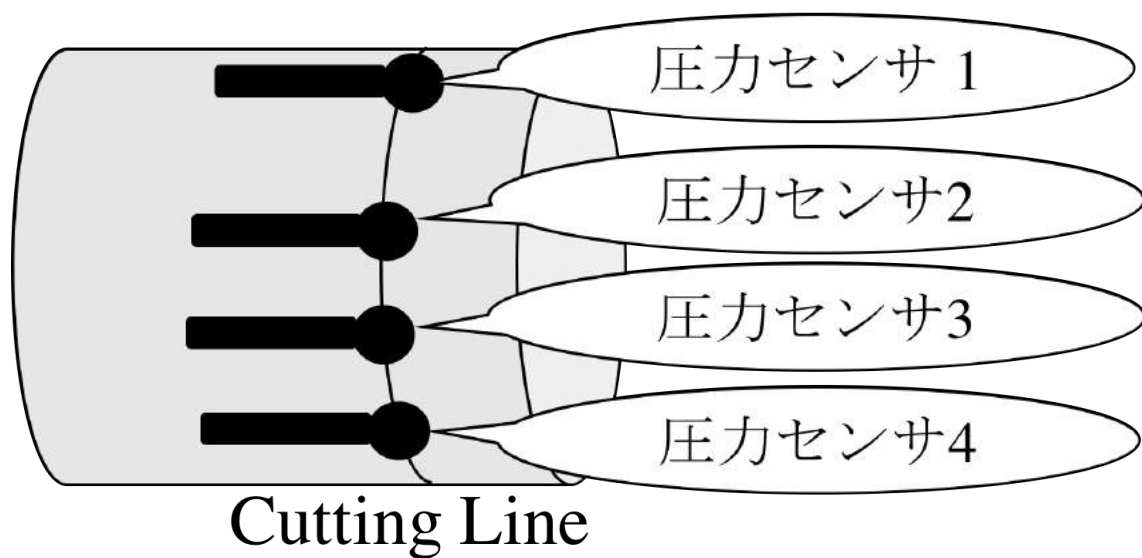


図 32 食材型デバイス



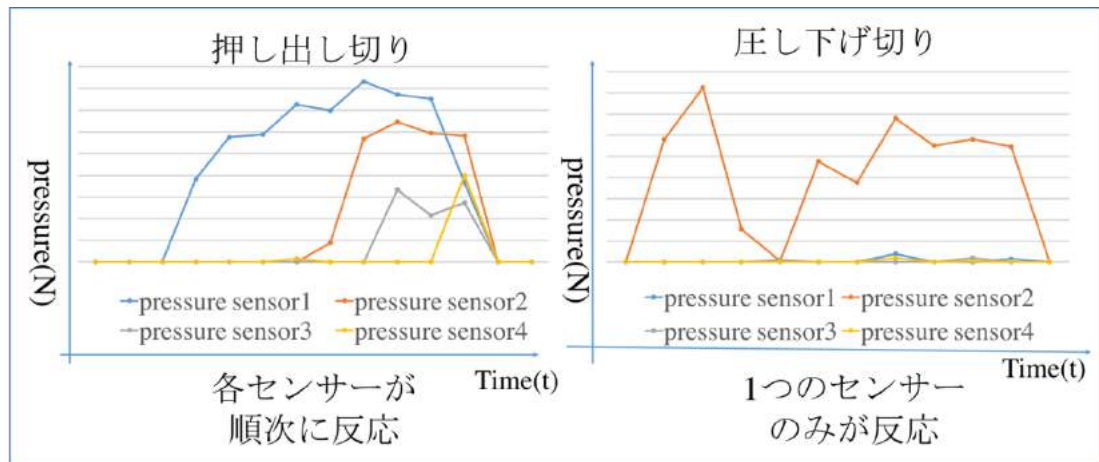


図 33 食材型デバイス圧力センサ反応グラフ

## 4.2 包丁型デバイス

包丁型デバイス(図 34)は学習者が利き手を用いて教育指針1 押し出し切りの切り方を正しく行うことができている、と食材型デバイスで判定された場合に、食材を切った触力覚をフィードバックするデバイスである。切った感覚は根元のモータを用いて包丁の刃に相当する部分に出ている糸の張力を調節することで提示する。具体的には、ものを切っているときには糸が緩み、そうでないときには糸が張っている。こうすることで食材に切り込んでいく感覚を表現している。また調理中の怪我でありがちな事故として、指先と包丁の刃が接触し指を切ってしまうことがある。そこで KKse は、包丁型デバイスと指先との接触を検知する機能を有する。

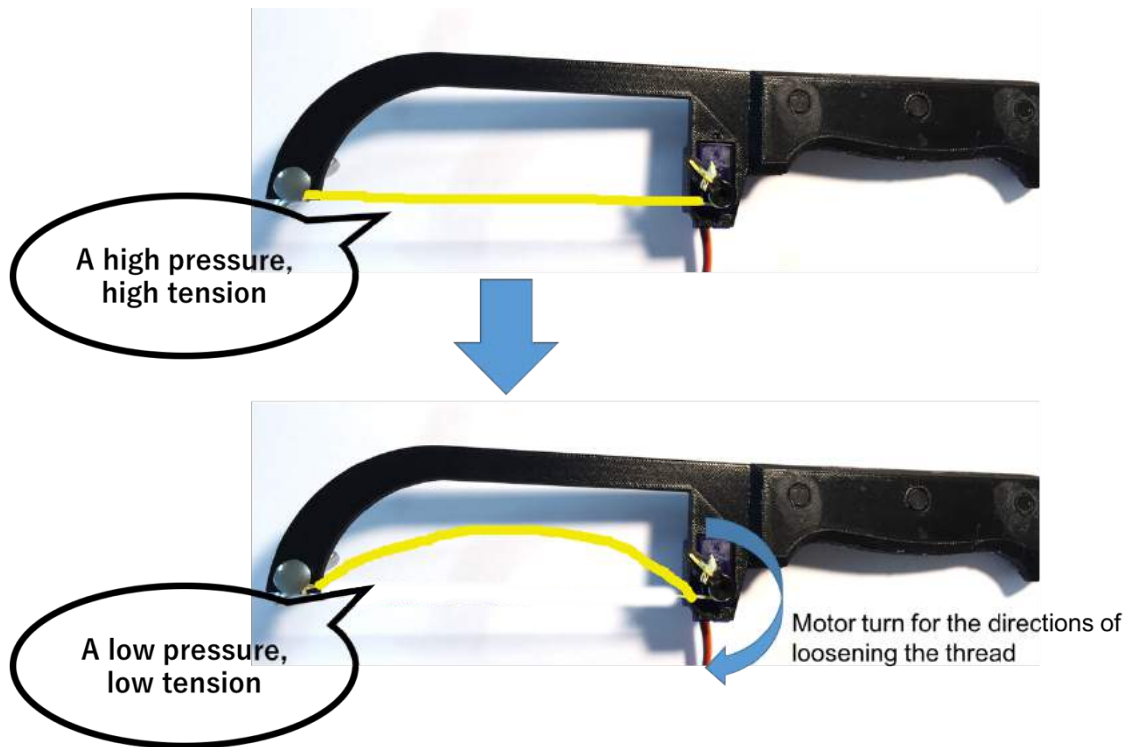


図 34 包丁型デバイス

#### 4.2.1 デバイス構成

ハードウェア構成図を図 35 に示す。包丁型デバイスは刃の部分に空洞になっている外枠と刃渡り部分の糸、糸を巻き取り、張力を変化させるモータ、それを制御するためのマイクロコントローラーからなる。

今回のシステムでは簡単のため外枠は 3D プリンタを用いて ABS 樹脂で出力した。今後、触覚を正確に表現するためには、外枠を外力がかかっても変形しにくい材質、また、より包丁に近い重さに設計することが求められる。糸のたゆみを用いて触覚を提示する構造上、枠の幅が切断対象物よりも広いこと、深さとして 2cm 程度のたゆみを出せることが必要となる。一方で、児童を対象とした包丁型デバイスであることから、包丁の全長は大人用

の包丁よりも小さいほうが好ましいといえる。これらのバランスを考え、図 36 のように刃渡りの糸部分を必要最低限の長さである 12cm とした。

モータには Tower Pro 社のマイクロサーボ 9g SG-92R[34]を用いた(図 37)。サーボモータの仕様の詳細を表 3 に示す。把持の際に重くならないこと、糸の長さにできるだけ影響を及ぼさないことの 2 点を考慮するため高出力で小型・軽量のモータを採用した。事前に、糸をモータに巻きつけておき、サーボモータを糸が緩む方向に回転させることで、糸の張力を緩める。

マイクロコントローラーには Arduino Uno[32]を用い、食材型デバイスに付属している Arduino とサーボモータ用の Arduino は同一であり、圧力センサ値に応じてサーボモータの動作を決定する。

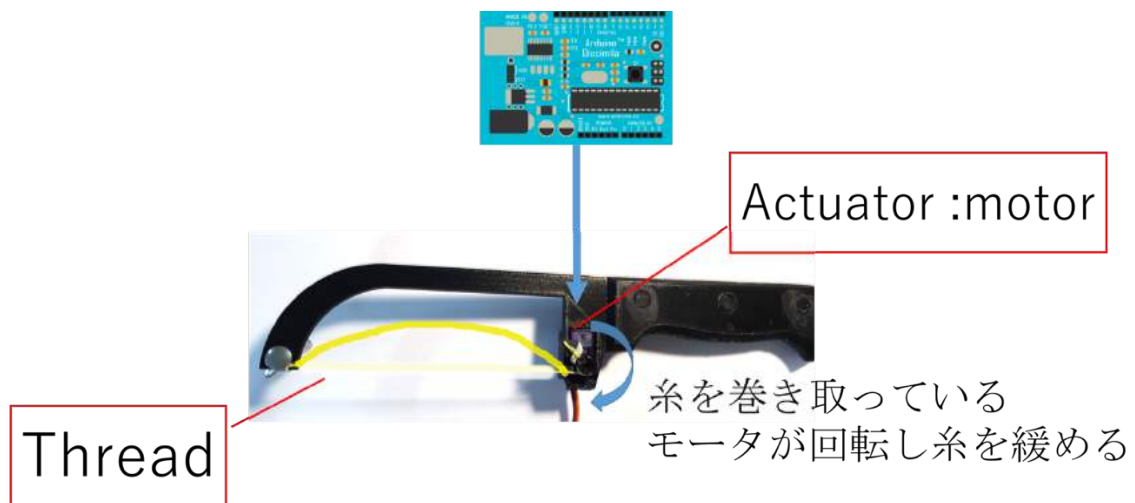


図 35 包丁型デバイスハードウェア構成

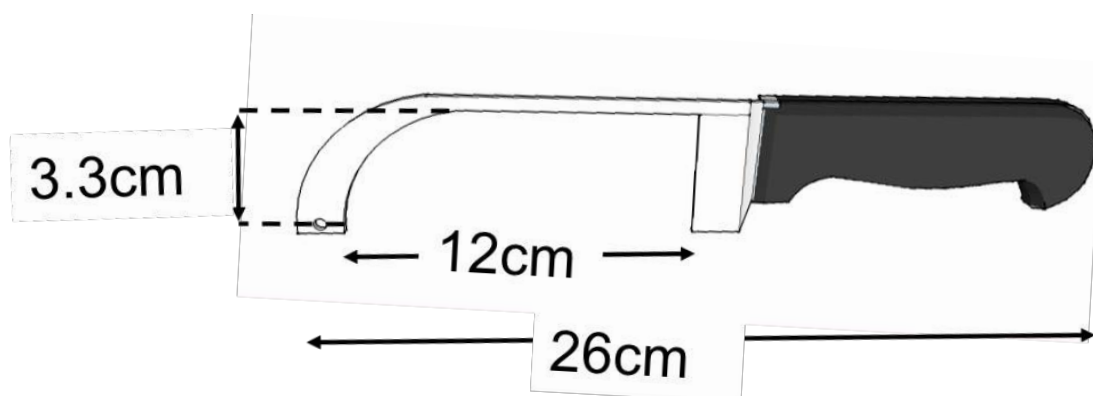


図 36 包丁型デバイスのサイズ情報



図 37 SG92R Micro servo[34]

表 3 サーボモータの性能

重さ	9g
サイズ	23×12.2×27 mm
トルク	2.5kg/cm(4.8v)
ギアタイプ	POM with carbon fiber
Operating speed	0.1sec/60° (4.8v)
Operating voltage	4.8v
ワイヤの長さ	25cm

#### 4.2.2 制御

力覚の提示は図のように行う。ユーザが包丁型デバイスで切る操作をするとき、包丁の柄を握り、指を支点にして、上から力かける。図 38 のように、ユーザが包丁型デバイスにかけた力を  $F$  とおき、支点からの距離を  $D$  とおく。また包丁の刃にかかっている力を  $f$  とおき、支点からの距離を  $d$  とおく。

$$F = \frac{fd}{D} \quad \text{式 1}$$

包丁型デバイスは、動滑車に置き換えて動きをモデル化することができる(図 39, 図 40)。糸の張力を  $T$  と置くと、糸の接している剛体には  $2T$  の力がかかる。

すなわち式 3 からユーザがかけている力を求めることができる。

$$f = 2T \quad \text{式 2}$$

$$F = \frac{2Td}{D} \quad \text{式 3}$$

ここで、2. システム内の糸の長さを長くすることで、刃先に当たるフレームの両端の位置が剛体の上面よりも下がり、力の釣り合う点で、停止する。1,2 をなめらかに行うことで、ユーザは反力を受けながら刃先が食材に押し入り切り込んでいく感覚を擬似的に体感することができる。ユーザが包丁型デバイスがある一定位置まで、切り込んだ後 PC から、食材が切れた音、食材が切れた映像を提示することで、ユーザはよりリアルに食材を切ったという感覚を得る。

本デバイスでは、サーボモータを一定の速度で動作させているため、包丁で食材を切るときの反力を正確に再現することはできない。しかしながら、実包丁では実装の難しい、食材を切り始めるときの包丁の刃先への力のかけ具合を簡易な機構で直接取得するという本研究の目的には適っている。さらに、包丁を扱ったことがない初心者ユーザが安全に、包丁で食材に切り込む体の動きを体感的に理解することが出来るという点で優れている。

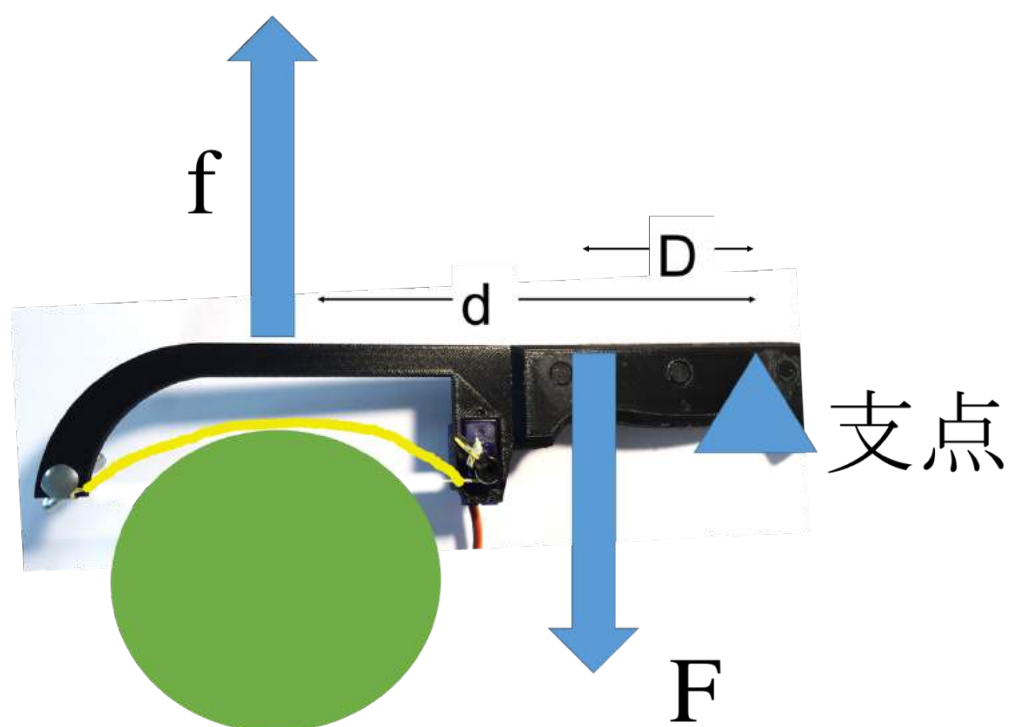


図 38 包丁操作時にかける力とモーメント

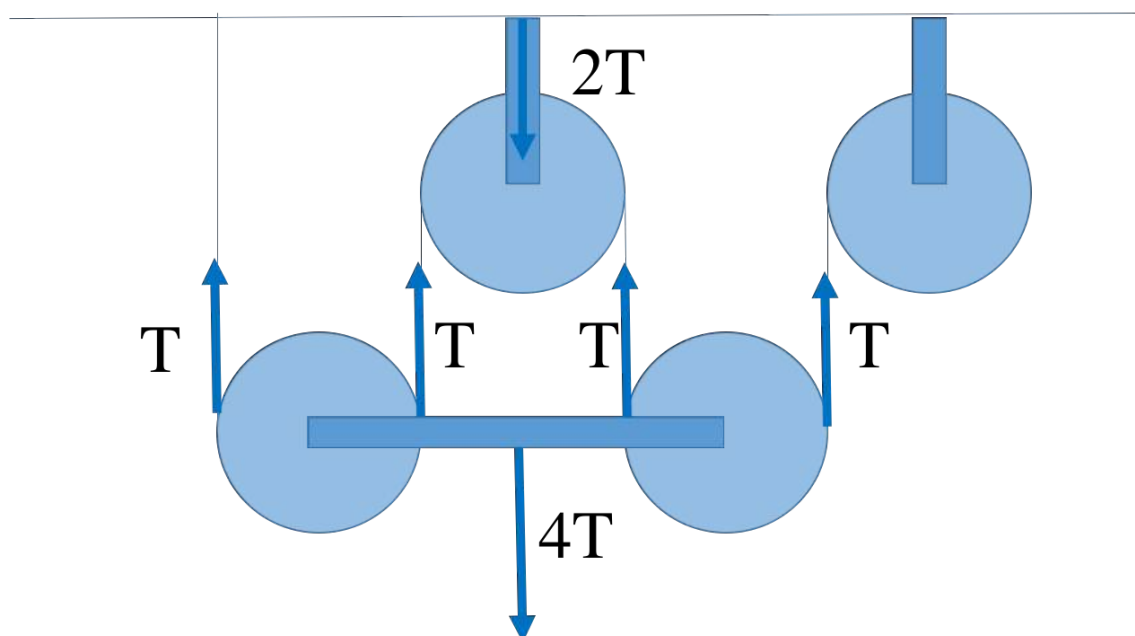


図 39 動滑車と力

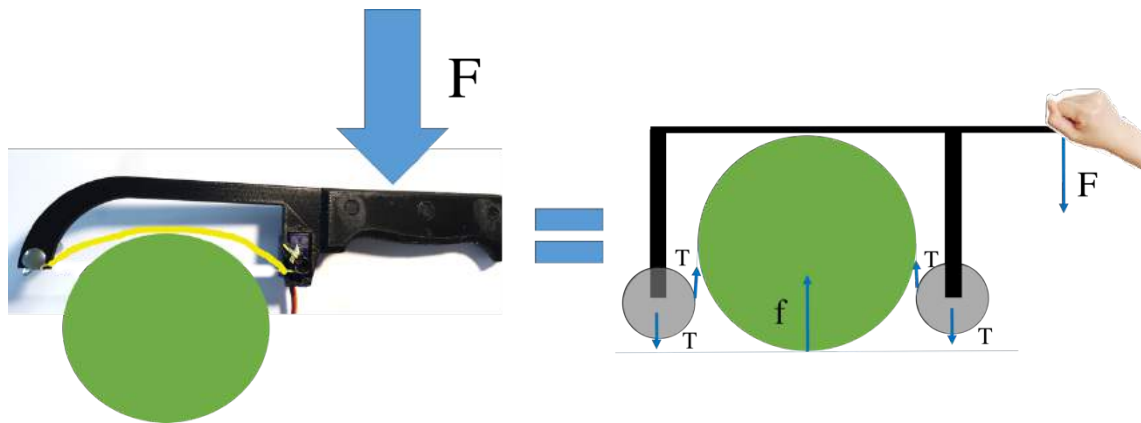


図 40 包丁型デバイスの張力と力

#### 4.2.3 指先接触判定

包丁型デバイスと食材型デバイスが，児童の支え手を媒介として通電したかどうかを認識することで，包丁型デバイスの刃先と指先との接触を検知する．糸は導電性のものを使用し，ユーザの指が包丁の刃先つまり糸に触れると，人を媒介として回路が生まれ，刃先の接触検知ができるように設計する(図 41)．これは，刃先が指に接触し指を切ってしまったことを擬似的に再現するためである．



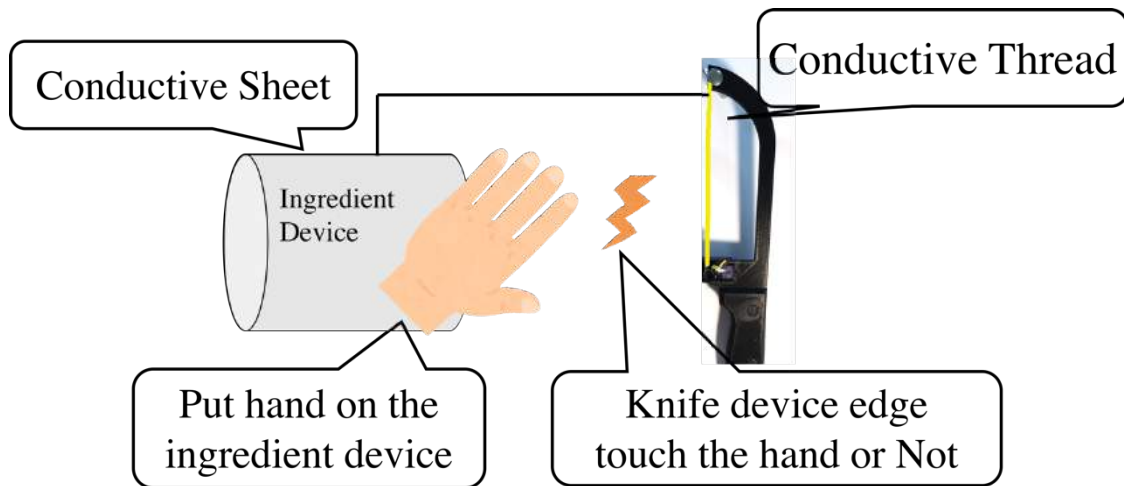


図 41 指先の接触判定

### 4.3 まな板型デバイス

まな板型デバイスは(図 42)は，ユーザが非利き手を用いて教育指針 2 食材の安定な置き方・支え方を正しく行うことができているかどうかを判定するためのデバイスである．具体的には非利き手で食材を支えた状況の，食材の安定度を食材の接地底面の圧力分布と接地面形状から計測する．



図 42 まな板型デバイス

#### 4.3.1 デバイス構成

ハードウェア構成図を図 43 に示す。まな板型デバイスは、FTIR マルチタッチディスプレイの構成を参考に作成している。アクリルパネル上にシリコンシートを設置し、アクリルパネルの両側面に LED を設置している。アクリルパネルの下にカメラを設置している。

アクリルパネルはアクリルショップ・はざいやの透明アクリル(押出板)[36]を用いた。アクリルパネルの詳細を表 4 に示す。アクリルパネルは厚みを 10mm 以上にするすることで、側面からの光がパネル内部で、全反射する。シリコンシートは株式会社エクシールコーポレーションのハイパーゲルシート[35]を用いた。シリコンシートの詳細を表 5 に示す。アクリルパ

ネル上にシリコンシートを設置することで，マルチタッチディスプレイ上に剛体を設置した時も，面接触とすることができるため，設置底面の面積を正確に取得することができる．LED は，アキバ LED ピカリ館の公演色 5630 テープ LED[37]を用いた．テープ LED の詳細を表 6 に示す．カメラは，POINT GREY 社の FL2-03S2C[38]に computar 社の T0812-FICS[39]レンズを付属して使用する．詳細を表 7 に示す．

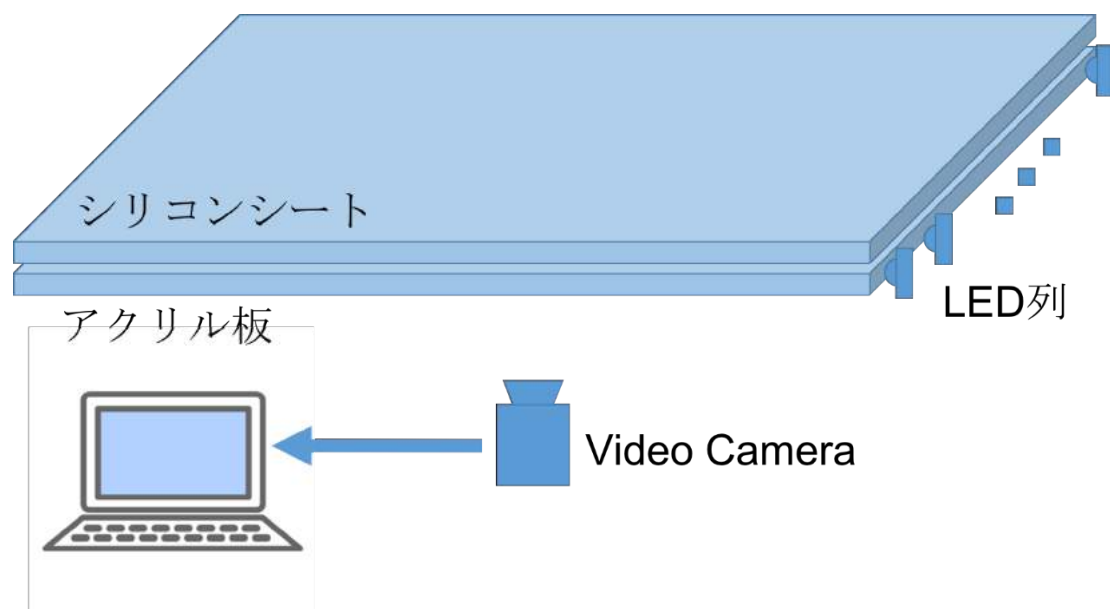


図 43 まな板型デバイスハードウェア構成図

表 4 アクリル板の詳細

種別	透明アクリル（押し出し板）
厚さ	10mm
サイズ	200×400mm
重量	0.96kg

表 5 シリコンシートの詳細

種別	ハイパーゲルシート
厚さ	5mm
硬度	C30
サイズ	200×400mm

表 6 LED テープの詳細

テープ幅	10mm
LED 種類	SAMSUNG 5630 高演色
5m 点灯時消費電力	40W 程度
仕様	非防水型
発光色	昼光色相当(6500K)
対応電源	12V
LED ピッチ	16.6mm
テープ長	400mm
LED 数	24 個

表 7 カメラの詳細

解像度	648×488
フレームレート	80FPS
メガピクセル	0.3
彩度	カラー
センサー名	Sony ICX424
センサータイプ	CCD
ゲイン範囲	0 db to 24db
露光範囲	0.02 ms to > 10 seconds
電力要件	8 to 30V
寸法	29×29×30mm
質量	58g

#### 4.3.2 判定アルゴリズム

FTIR の機構を利用して、物体の設置面面積と、圧力分布を取得する。

FTIR は、アクリル板内に赤外線を全反射させ、物体がアクリル板に触れると、アクリルから光が漏れ出す、この光を下部に設置したカメラで取得する、タッチパネル用の機構である。これについて、坂本らはアクリルの代わりにシリコーンゴムを用いることで、タッチパネル上に置いた硬い物体の形状検出を可能にした[16]。このシステムでは、設置面の圧力分布と輝度が対

応している。そこで、本システムでは、Open CV を用いて、取得画像の設置面の画像形状とピクセルごとの輝度を取得する。この時の輝度が接触圧を代表する値であると仮定して、下記の式により ZMP を求める。ただし  $(x_{zmp}, y_{zmp})$  ならびに  $(x_i, y_i)$  をそれぞれ ZMP の座標値、床反力を受けている点の座標値とする。そして  $f_i$  を  $(x_i, y_i)$  で受けている床反力の大きさとする。

$$(x_{zmp}, y_{zmp}) = \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \right) \quad \text{式 4}$$

ZMP と設置面形状の幾何重心とを結んだ直線が設置面の端の線と交わる点から幾何重心への距離を基準とし幾何重心から一定割合の距離を結んだ図形を安定の閾値と定義する。ZMP が安定の閾値の内部に存在する場合、その物体は安定。外部に存在する場合、その物体は不安定であると定義する。

底面から確認できた食材の接地底面を blob と呼ぶ、食材形状によって blob は数個に分かれて出現する可能性があるため、すべての blob を含む最小の長方形を定め、この長方形を食材の接地底面全体として A とおく。A の幾何重心を  $(x_{geo}, y_{geo})$  とする。安定の閾値は下記の 2 点を対角線上の座標とする長方形として求められる。 $(x_{zmp}, y_{zmp})$  が式 7 の範囲に存在するかどうかを求めることで、安定の閾値の外部にあるか内部にあるかを求めることができる。式 7 が成り立つ時その物体は安定を保っているとする。

$$\left( x_{geo} - \frac{x_{geo}}{4}, y_{geo} - \frac{y_{geo}}{4} \right) \quad \text{式 5}$$

$$\left(x_{geo} + \frac{x_{geo}}{4}, y_{geo} + \frac{y_{geo}}{4}\right) \quad \text{式 6}$$

$$\begin{aligned} \left(x_{geo} - \frac{x_{geo}}{4}, y_{geo} - \frac{y_{geo}}{4}\right) &< (x_{zmp}, y_{zmp}) \\ &< \left(x_{geo} + \frac{x_{geo}}{4}, y_{geo} + \frac{y_{geo}}{4}\right) \end{aligned} \quad \text{式 7}$$

#### 4.4 システム利用の流れ

システムの流れを下記に示す．押し出し切り教示システムを構成する，食材型デバイスと包丁型デバイスの動作の様子を図 44 に示す．また動作の様子を図 45 に示す．

1. 食材型デバイスの安定を判定する
2. 食材の表示

PC の画面上に食材の画像を表示する．

3. ユーザの切る動作をセンシングする
4. 切り方に応じてアドバイスを出力する
5. 押し出し切りの場合：視覚・触覚・聴覚フィードバックを行う

視覚フィードバックは PC 上の食材が切断される．

聴覚フィードバックは PC から「ざくっ」という音声再生される

触覚のフィードバックは包丁型デバイスから切り込んだ触覚を提示する

## 6. 叩き切りの場合：フィードバックが行われない

食材に切り込むことができないため、直感的に自分の行動が誤っていると判断し、自然に動作や力加減を試行錯誤して、学習することが出来る

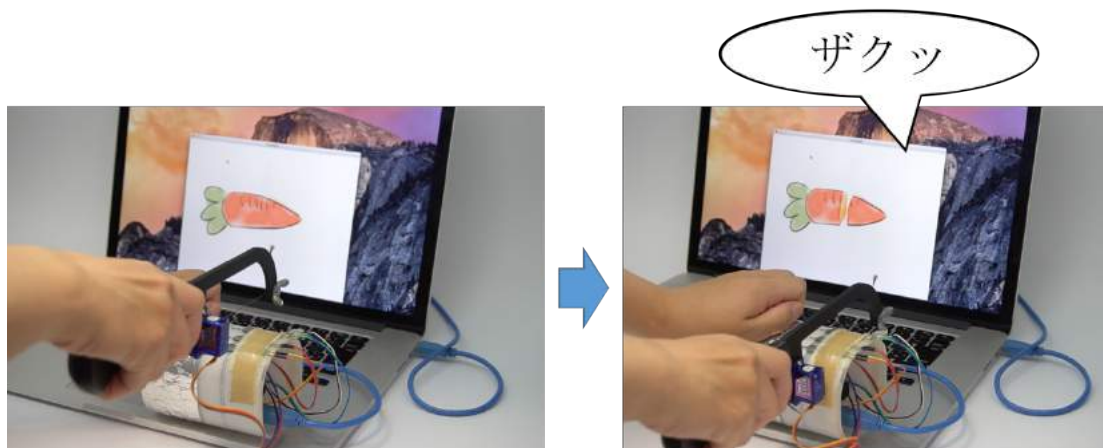


図 44 押し出し切りシステムの動作の様子

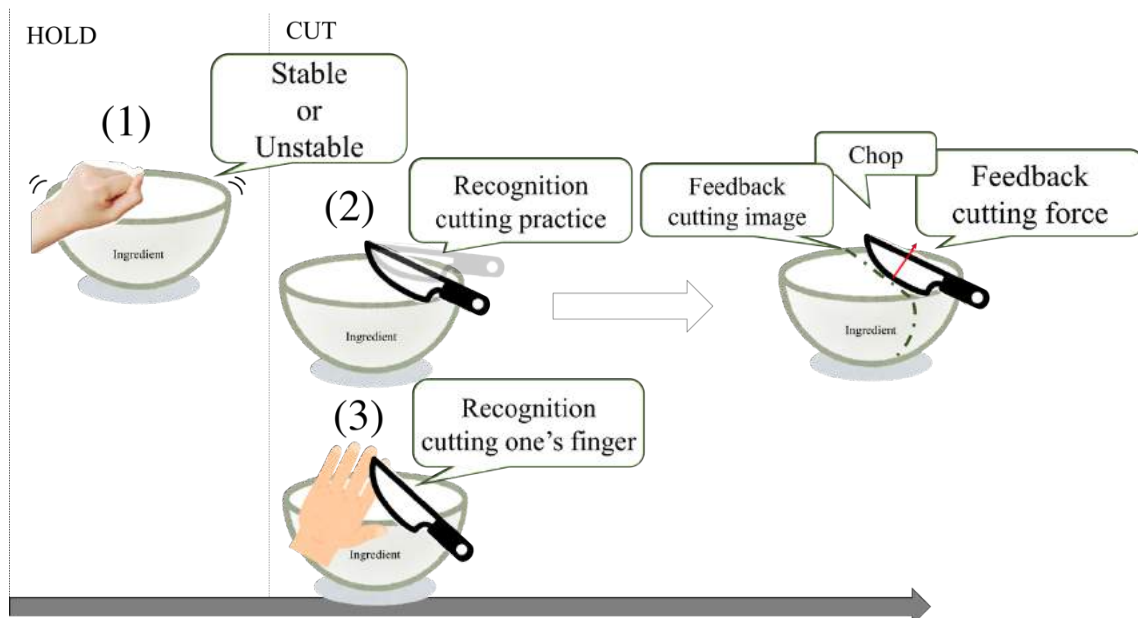


図 45 全体の流れ図



## 第5章

## 運用実験

### 5.1 押し出し切りの学習効果

KKse を通して，学習者が押し出し切りを習得できたかどうかを検証する．この実験は，合計で 13 名の被験者(全員女性) 年齢は 5 歳~12 歳の小学生を対象にした．現行のシステムでは，判定のポイント 1. 時間ごとの刃の傾き具合の変化を判定し，外形的ではあるが押し出し切りの動作を教示することができる．そこで，学習者が KKse での学習を通して，正しい押し出し切りの切り方を習得することが出来るかどうか．押し出し切りの能力がどの程度向上したかを観察することで，システムの有用性を判定する．従来，実包丁の利用が許可されていない児童は，ままごとセットなど，実際の食材とは異なるものを用いて，食材の切断を体感学習していた．この時，一般的には，保護者がつきっきりではなく児童一人で学習を行う．本実験でも，その状況を再現するために，学習中に指示を行わなかった．ただし，現行の KKse システムは判定メッセージを画面に出力するのみであるため，実験者が，そのメッセージを，児童に伝えた．実験は，ままごとセットと KKse を

利用して、押し出し切りを学習したのち、おもちゃの包丁を用いて、食材を切る様子を観察する。

### 5.1.1 実験環境

本実験は、ガールスカウト千葉 36 団に所属している女子児童を対象に、行った。実験を行った環境の写真を図 46 に示す。初めに、児童全体に対して、実験の目的と KKse の動作の様子と利用方法を説明した(図 47)。その後、被験者一名ずつ、実験を行ってもらった。被験者は写真下方のまな板上で、食材を切る動作を行う。切っている様子は、前方より手元がよく見えるようにビデオカメラで撮影する。その後、アンケートに回答してもらった(図 48)。



図 46 実験環境



図 47 実験説明の様子



図 48 アンケートへの記入の様子

### 5.1.2 実験手法

実験は、ままごとセットと KKse を利用して、押し出し切りを学習したのち、おもちゃの包丁を用いて、食材を切る様子を記録する。後日第三者によるビデオ観察を通じて、適切に押し出し切りが再現できているかについて評価を行う。

初めに児童を下記の 2 つのグループに分ける。

グループA. KKse, ままごとセットの順で学習するグループ

グループB. ままごとセット KKse の順で学習するグループ

#### 5.1.2.1. 学習

##### ままごとセットでの学習

ままごとセットは、西松屋の森のおもちゃザクザクくだもの[40]を用いた。五回切る練習を行ってもらった。

##### KKse での学習

1 回の切断動作ごとに、被験者に対し切り方のアドバイスをフィードバックし、合計 5 回切る動作を行ってもらう。

#### 5.1.2.2. 実験手順

初めに、何も学習していない状態で、ままごとセットの包丁を用いて、魚肉ソーセージを切ってもらう。その後、一回目の学習を行う。学習ののち、再度魚肉ソーセージを切ってもらい切り方に変化があるかどうかを確認する。二回目の学習を行い。最後に、魚肉ソーセージを切ってもらい、データ記録完了とする。

#### 5.1.3 学習効果の評価方法

5.1.2 の実験で、被験者の包丁動作に改善があったかどうかを判定する実験を行った。以降この実験の参加者を判定員と呼ぶ。判定員は 22~23 歳の学生 4 名(男性 3 名,女性 1 名)である。判定者は、教師動画として、押し出し

切りと押し下げ切りの動画を見たのち、教師動画を参考に押し出し切りを行うことができているかを評価する。学習効果有無の判定の様子を図 49 に示す。評価者は、左画面のビデオ映像を確認しながら、1 シーンごとにアンケートに回答していく。被験者の動画(13 人×3 回)をランダムに並べ替えた動画を動画 A、動画 A を逆順で再生する動画を動画 B とする。動画 A、動画 B それぞれ 2 名ずつの判定者が判定を行った。評価は 5 段階のアンケートを用いて行った。アンケートの内容は、各 1 シーンにつき 3 つの設問を設けた。

- この映像は押し出し切りを習得していたと思いますか？
- この映像で児童は刃を斜め下に向ける動作をしていましたか？
- この映像で児童は刃を前方にスライドさせていましたか？

教師動画と比較した時に、合格のボーダーラインを 3 と捉え、[不合格であると感じる]を 1、動画と同程度で[文句なしに合格だと感じる]を 5 として 5 段階で、答えるように指示した。





図 49 実験の様子

#### 5.1.4 実験結果

##### 5.1.4.1. 被験者実験のアンケート結果

被験者の学年分布を図 50 に示す。実験参加者は低学年児童が 6 名，高学年児童が 7 名であった。事前に被験者の調理経験や調理への興味度合いを確認するために，調理へ興味があるかについて 5 段階でアンケートをとった。調理にとっても興味があると答えた小学校低学年児童は，4 名で，調理にとっても興味があると答えた高学年児童は 0 人であった。さらに，やったことのある調理とやってみたい調理についてそれぞれアンケートをとった。小学校低学年の児童と高学年の児童とで，各調理操作をやってみたいと答えた人数を

百分率でグラフに表した。すべての調理操作について、低学年児童の方が、興味を持っていることがうかがえる。低学年児童と高学年児童それぞれが、各調理操作へ興味を持っている人数割合とその調理操作を経験したことがあるかの割合を図 52、図 53 に示す。KKse とままごとセットの学習とで被験者が体験の質に違いを感じているかどうかを比較したグラフを図 54 に示す。各学習を通して、学習して楽しかったかという質問について、ままごとセットでは、38%がとてもそう思うと回答しているのに対し、KKse では、62%がとてもそう思うと回答している。KKse での学習を楽しく感じた児童が多かったことがわかる。それぞれの学習をまたやりたいかについては、ままごとセットでは 54%がとてもそう思うと回答しているのに対し、KKse では 69%がとてもそう思うと回答している。それぞれの学習を誰かに教えたいかについては、ままごとセットでは 31%がとてもそう思うと回答しているのに対し、KKse では 38%がとてもそう思うと回答している。



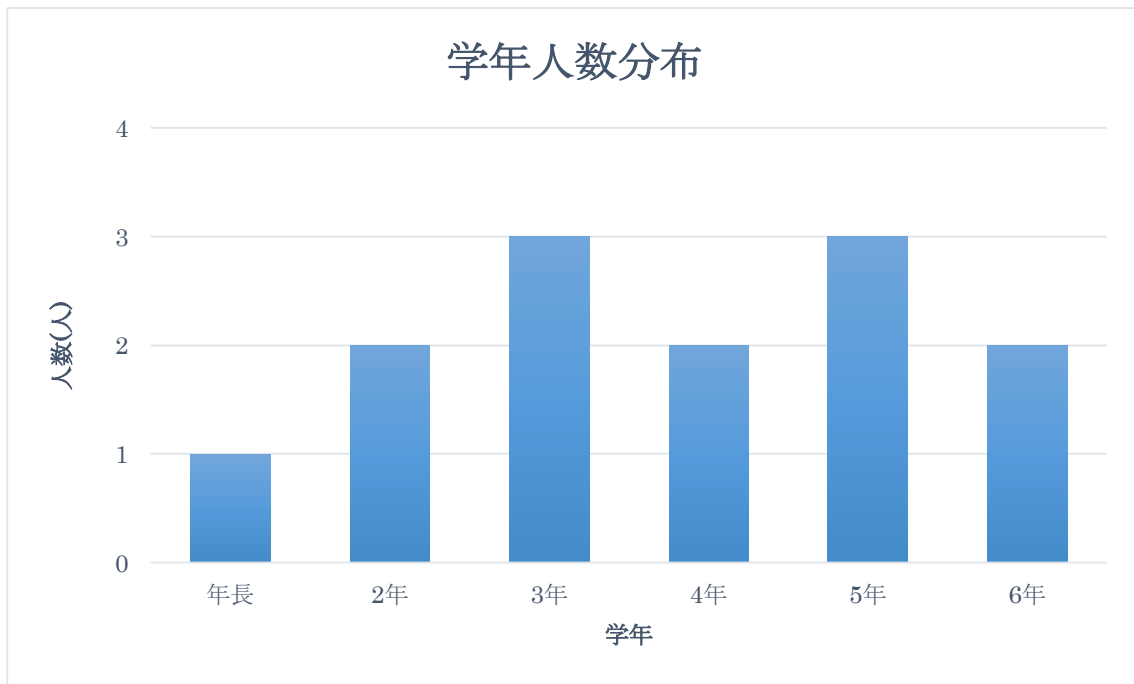


図 50 学年人数分布

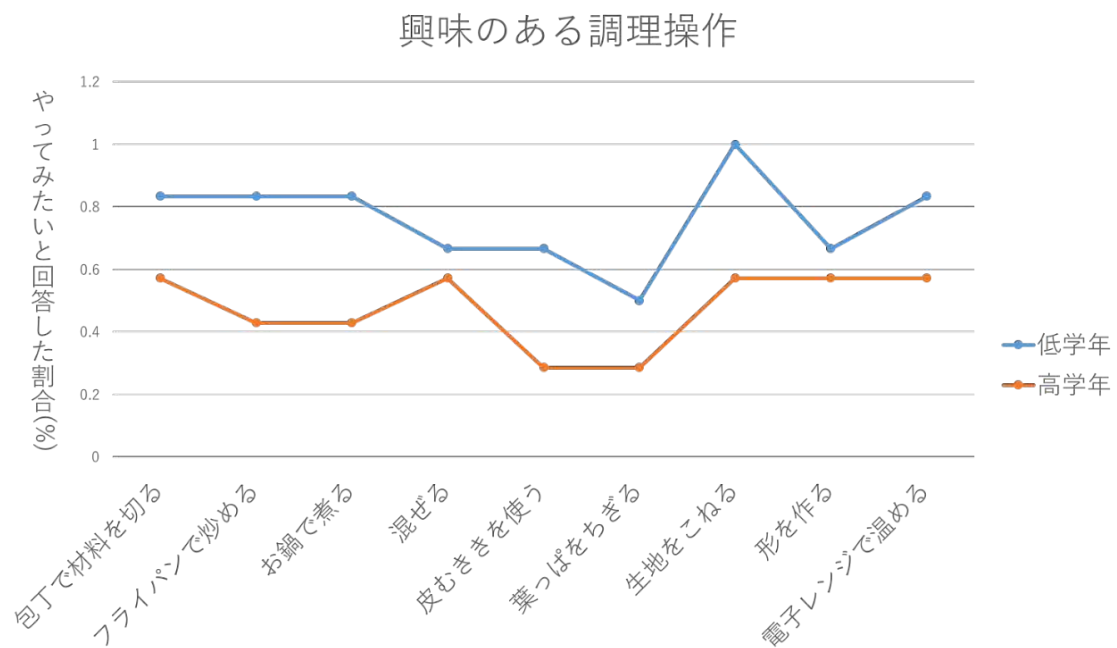


図 51 興味のある調理操作(学年別)

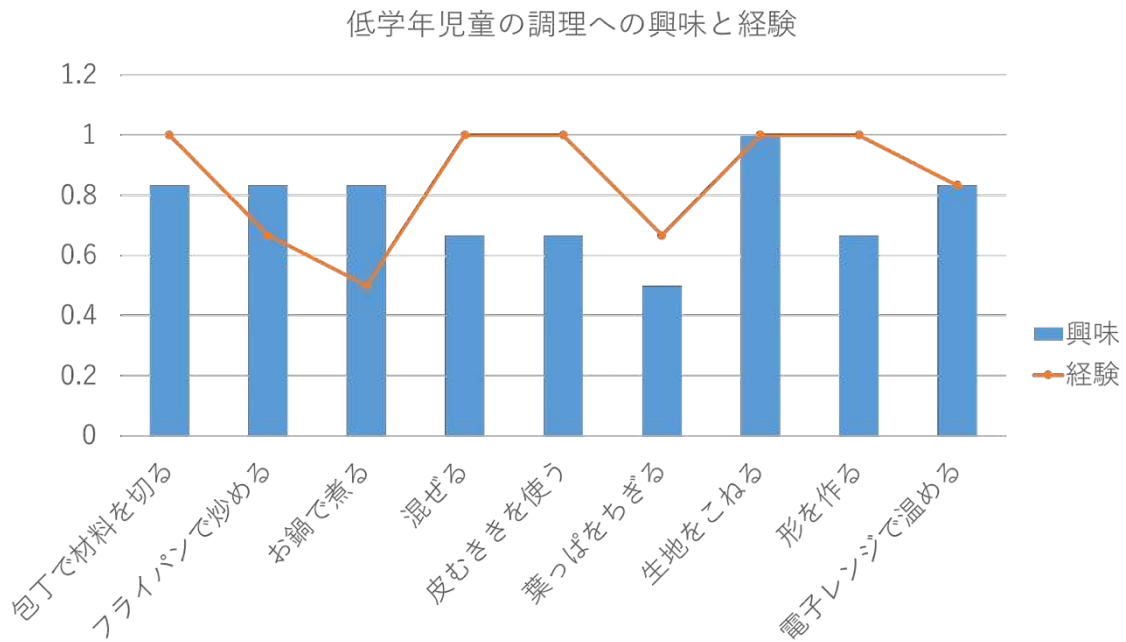


図 52 低学年児童の調理への興味と経験

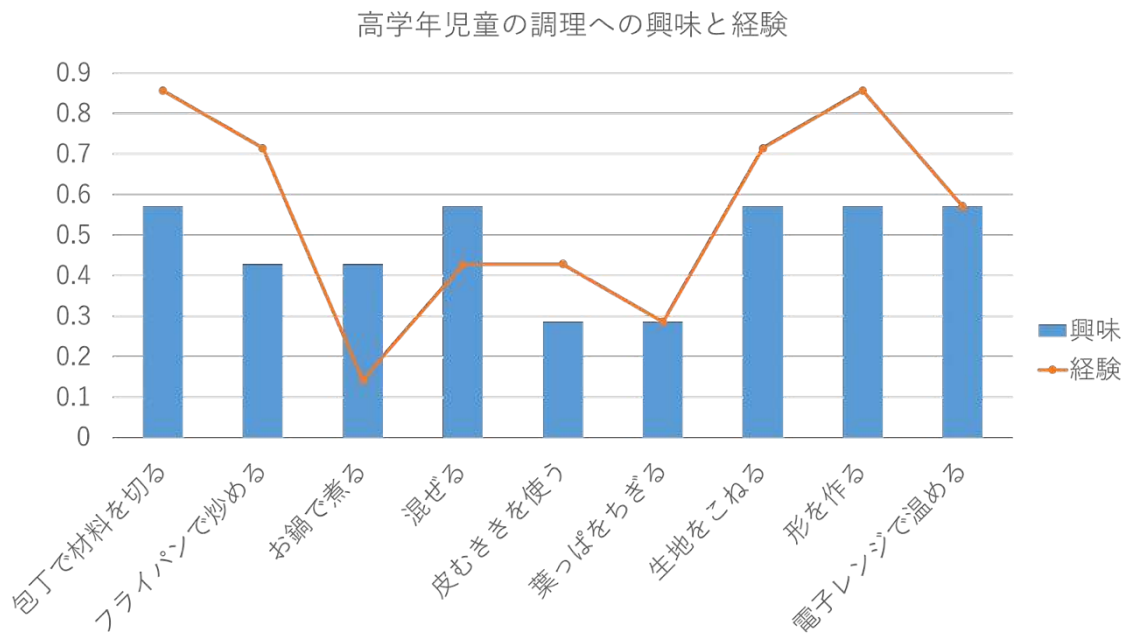


図 53 高学年児童の調理への興味と経験

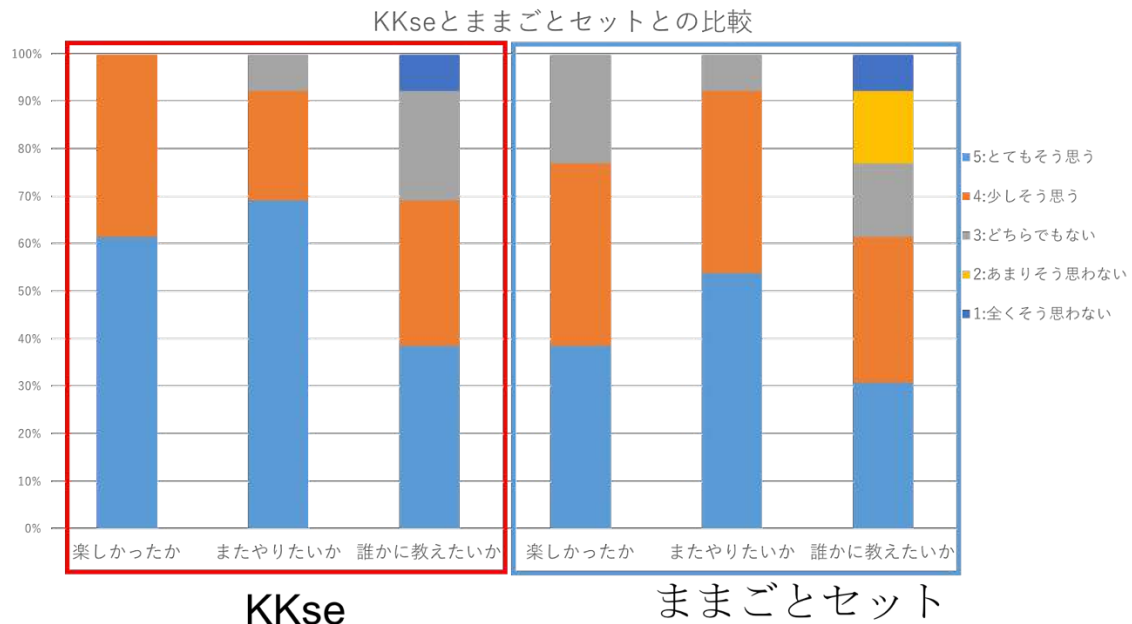


図 54 KKse とままごとセットとの学習体験の比較

#### 5.1.4.2. 学習効果の有無判定の結果

5.1.3 で述べた学習効果の有無を判定する実験の結果を下記に示す。この実験では、学習者が KKse での学習を通して、正しい押し出し切りの切り方を習得することが出来るかどうか、押し出し切りの能力がどの程度向上したかを判断する目的がある。事前の指示で「合格のボーダーラインを3として評価する」ように指示しているため、判定された結果が3を超えていれば、押し出し切りの動作を習得したと定める。

質問1「児童は押し出し切りを習得したと思いますか？」について、練習なし1回目の試行で評価3以上を取得した児童の割合は15%であった(図55)。全ての学習を終えたのち、評価3以上を取得した児童は62%であっ

た。質問2「児童は刃を斜め下に向ける動作をしていましたか？」について、練習なし1回目の試行で評価3以上を取得した児童の割合は38%であった(図56)。全ての学習を終えたのち、評価3以上を取得した児童は85%であった。質問3「児童は刃を前方にスライドさせていましたか？」について、練習なし1回目の試行で評価3以上を取得した児童の割合は15%であった(図57)。全試行を終えたのち、評価3以上を取得した児童は62%であった。

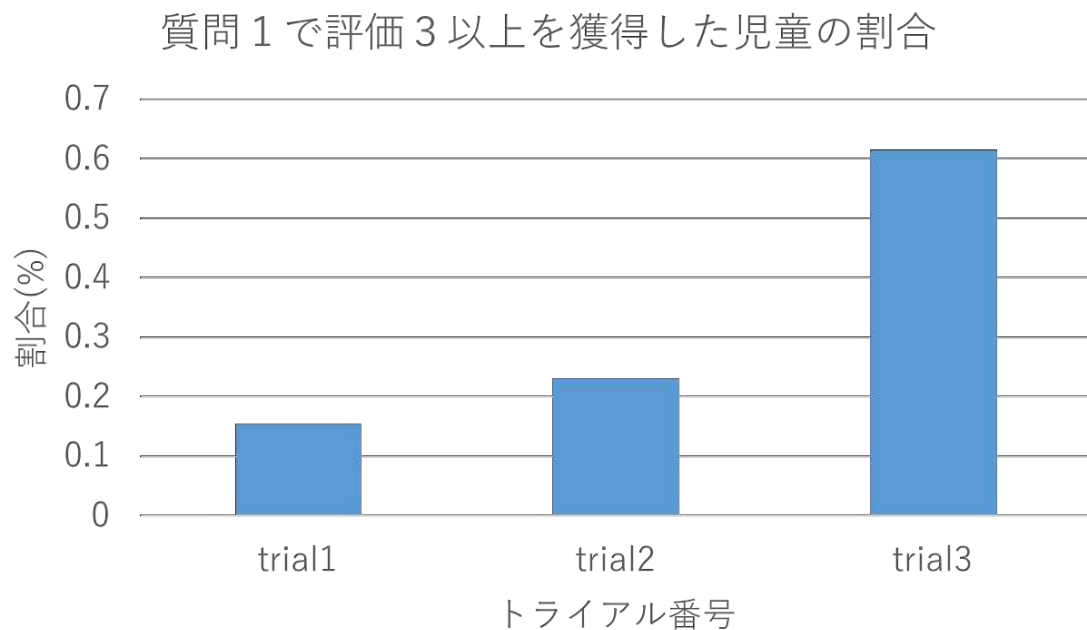


図 55 質問1で評価3以上を獲得した児童の割合

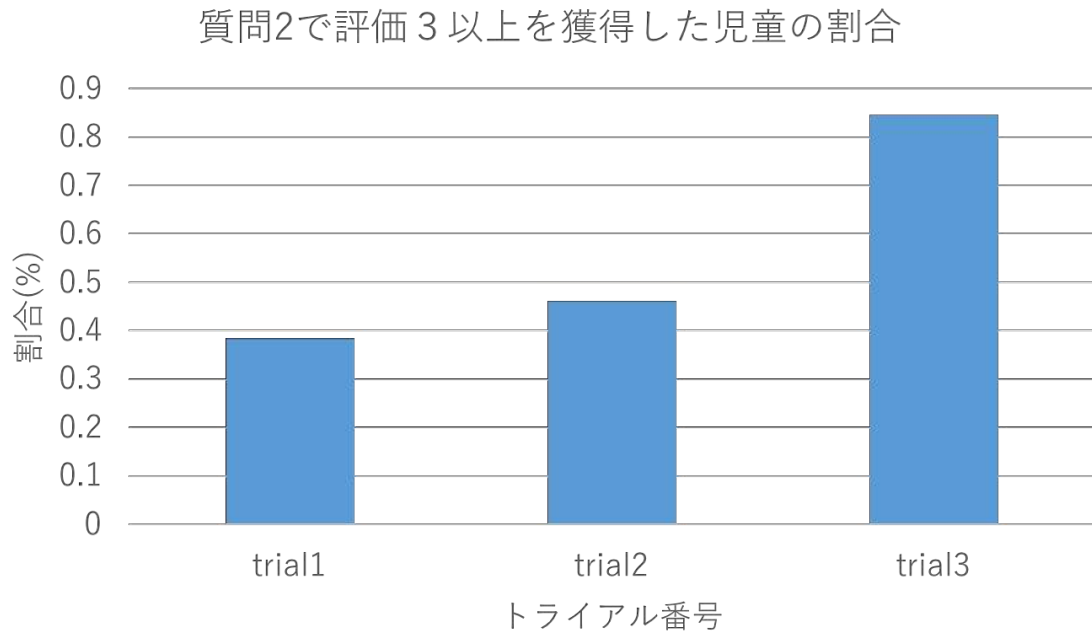


図 56 質問2で評価3以上を獲得した児童の割合

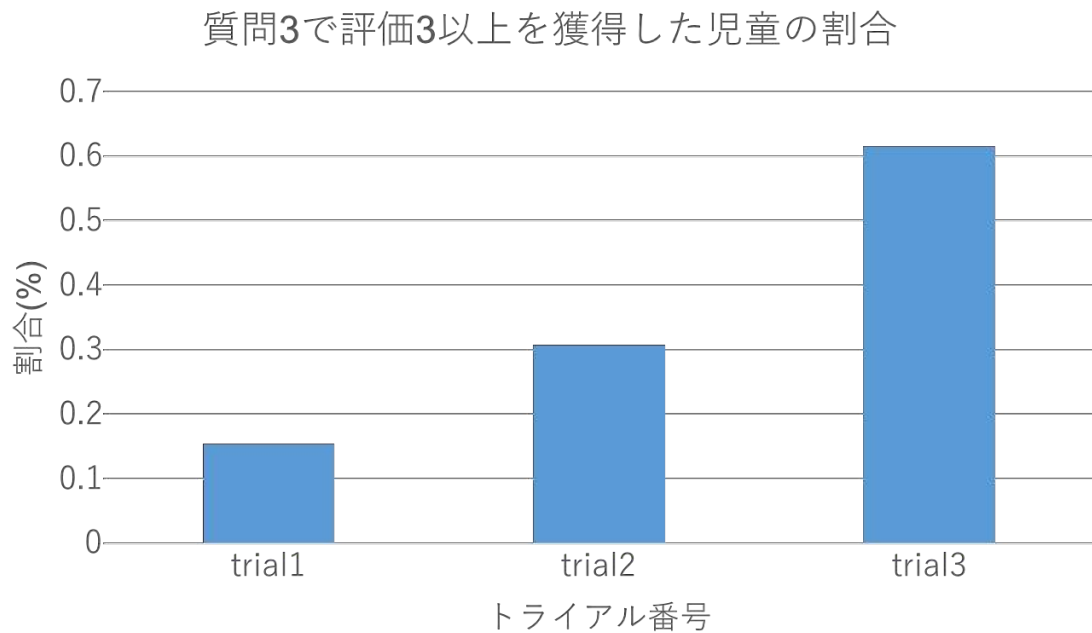


図 57 質問3で評価3以上を獲得した児童の割合

次に、KKse を利用した際にどれほど、学習の効果があるかを評価点数の伸び率から評価する。また、本実験ではままとセットでの練習と KKse での練習とで、学習効果の差異を評価ための実験であったが、実験の設計に問題があり、ままとセットで練習した時には、全く修正の指示を行わなかったため、ままとセットでの練習はほとんど意味をなさなかったと言える。そこで、今回は、KKse での学習の前後で、児童の包丁操作の評価がどのように変化したかのみに焦点を当てて結果を考察することとする。質問1～質問3について KKse での練習の前後での評価の平均点を比較した結果を図 58, 図 59, 図 60 に示す。さらに、それぞれの設問について低学年児童と高学年児童で、学習の効果を比較するために、KKse での練習の平均の差を図 61, 図 62, 図 63 で示す。

質問1「児童は押し出し切りを習得したと思いますか？」について、KKse での練習前と練習後で t 検定を行うと有意水準 1% で練習後に点数の向上が見られる。さらに、低学年児童の学習効果と高学年児童の学習効果は低学年児童の方が、高学年児童よりも学習効果が高い。質問2「児童は刃を斜め下に向ける動作をしていましたか？」について、KKse での練習前と練習後で t 検定を行うと有意水準 5% で練習後に点数の向上が見られる。一方で、低学年児童の学習効果と高学年児童の学習効果についてはグラフから低学年児童の方が高学年児童よりも学習効果が高い。質問3「児童は刃を前方にスライドさせていましたか？」について、KKse での練習前と練習後で t

検定を行うと有意水準 5%で練習後に点数の向上が見られる。さらに、低学年児童の学習効果と高学年児童の学習効果についてはグラフから低学年児童の方が、高学年児童よりも学習効果が高い。について、KKseでの練習前と練習後でt検定を行うと有意水準 1%で練習後に点数の向上が見られる。さらに、低学年児童の学習効果と高学年児童の学習効果は有意水準 5%で低学年児童の方が、高学年児童よりも学習効果が高い。

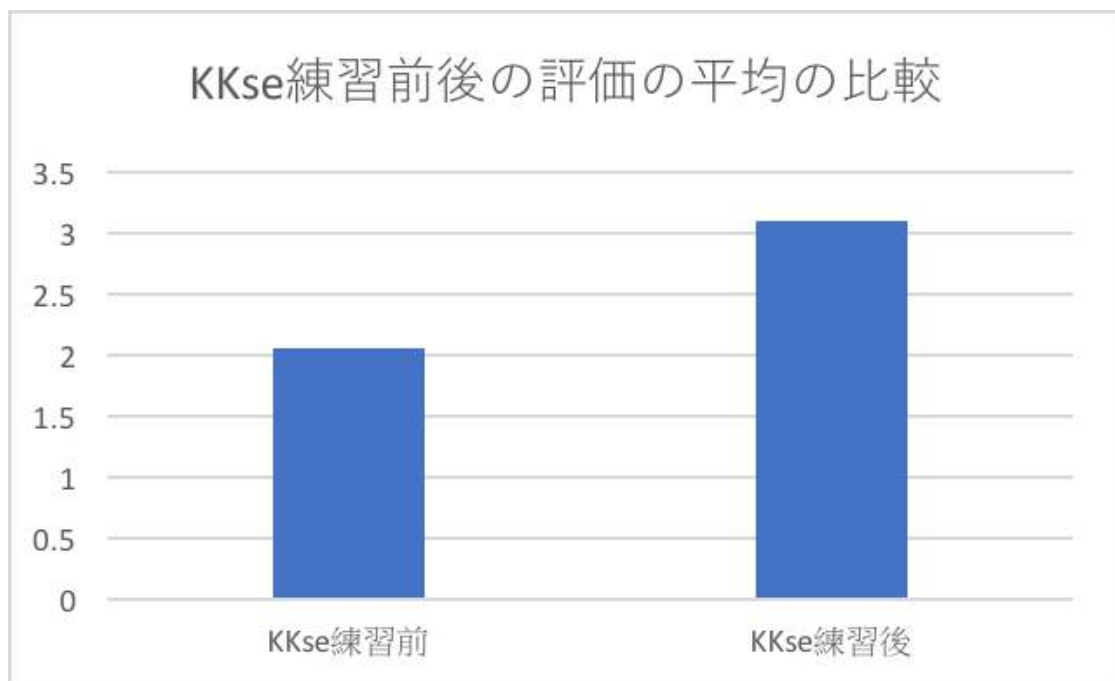


図 58 質問 1 KKse 練習前後の評価の平均の比較

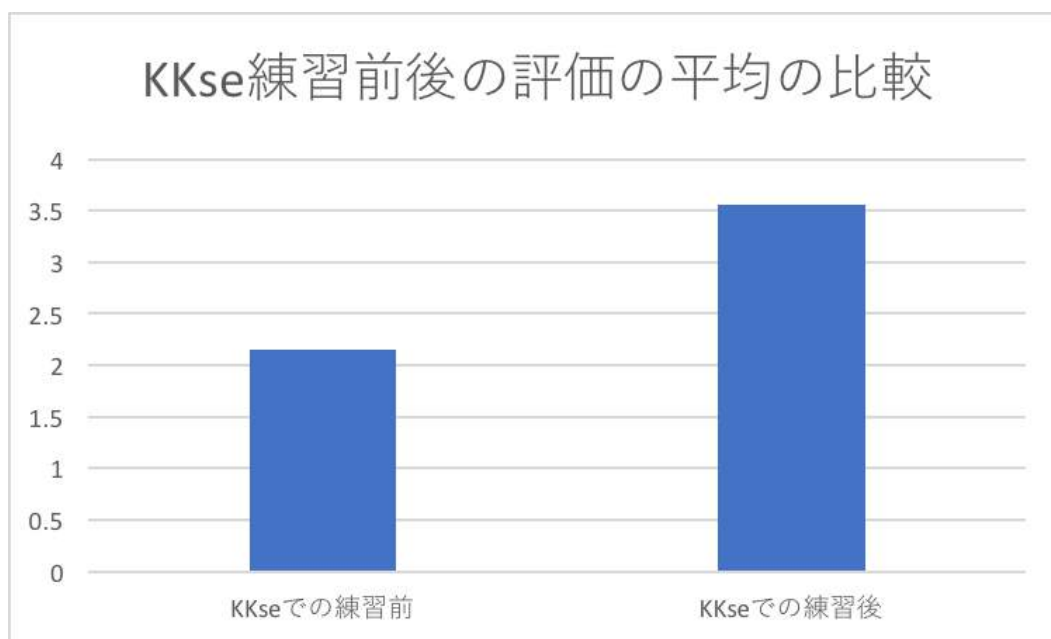


図 59 質問 2 KKse 練習前後の評価の平均の比較

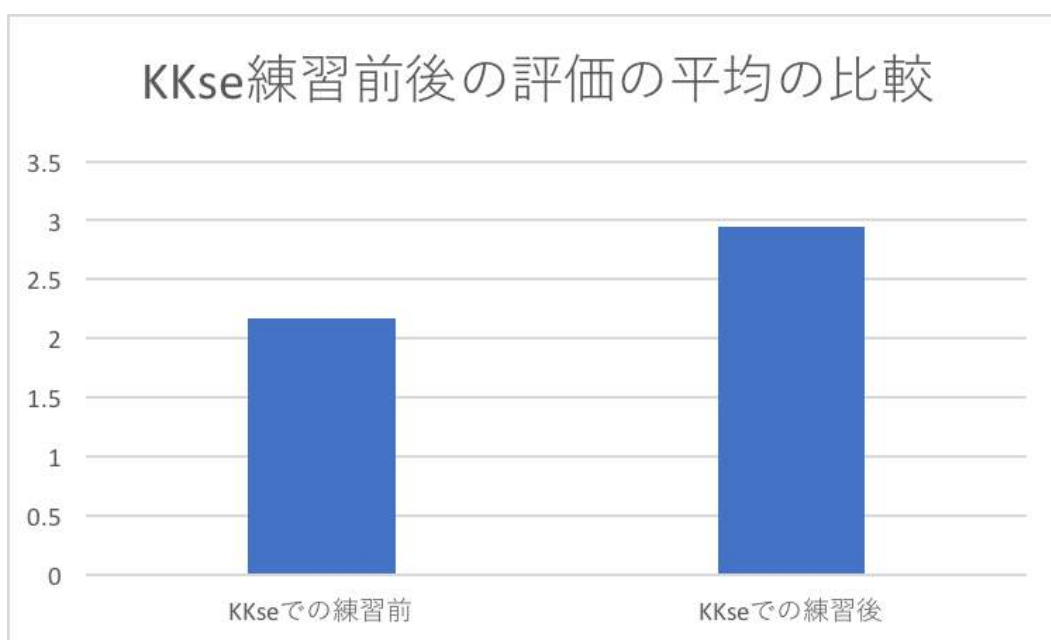


図 60 質問 3 KKse 練習前後の評価の平均の比較



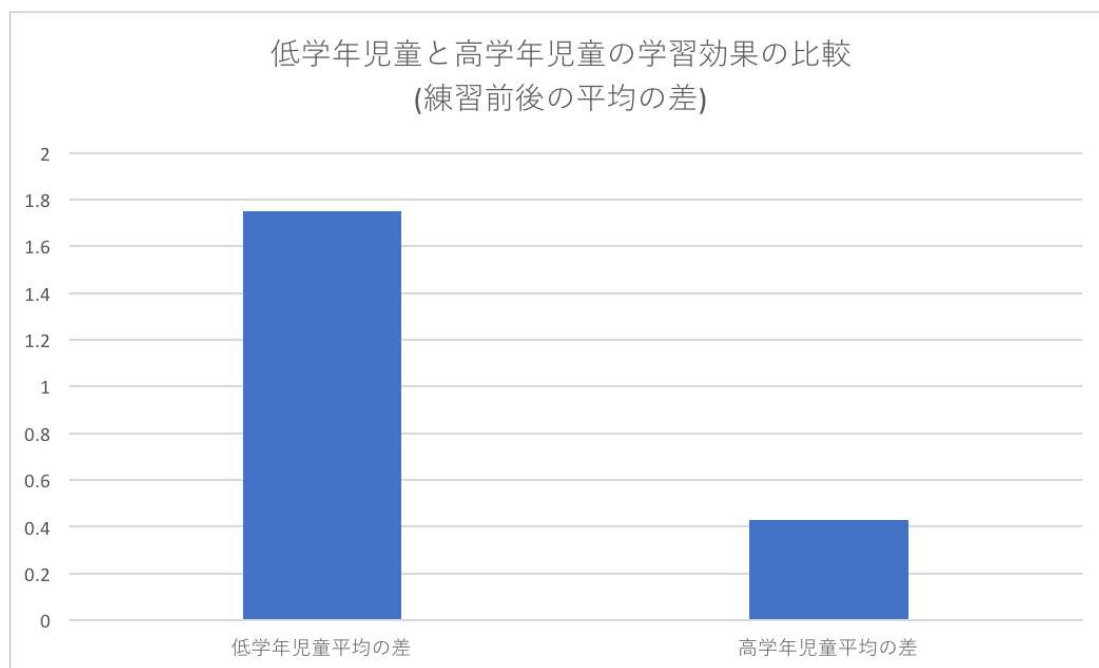


図 61 質問 1 低学年児童と高学年児童の学習効果の比較

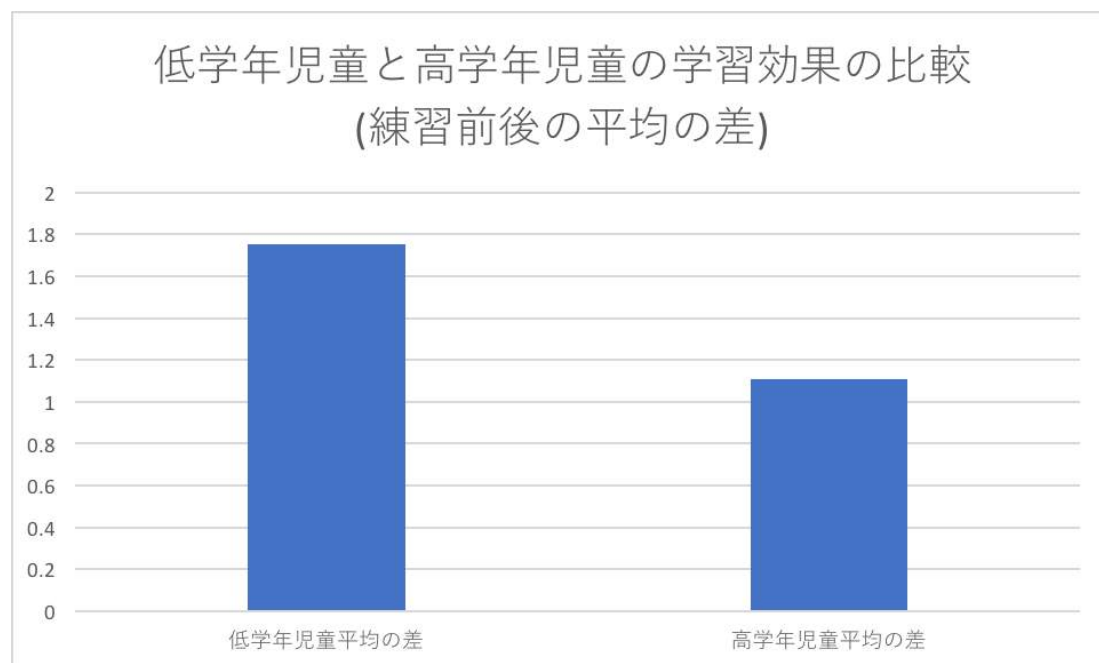


図 62 質問 2 低学年児童と高学年児童の学習効果の比較

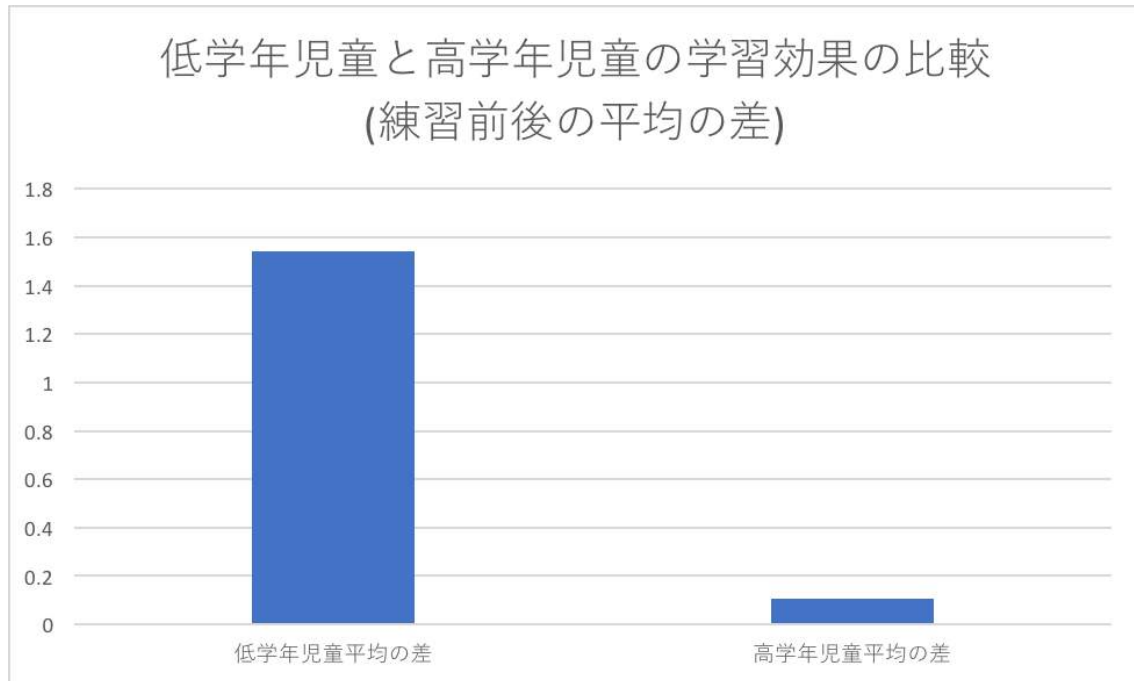


図 63 質問3 低学年児童と高学年児童の学習効果の比較

### 5.1.5 考察

調理への興味に関するアンケートでは、低学年児童の方が明らかに、調理に対して興味を持っていたが、学年ごとで、特定の調理操作への興味や経験に優位な差異は出なかった。むしろ、調理経験について評価すると低学年児童の方が、各調理を経験したことがある児童の割合が高かった。これは、今回の被験者らが、ガールスカウトという団体に所属しており、団体の活動の一環として、調理行動があるため、一般的な児童と比較して、包丁や火器などの危険な調理行動の経験を行う機会があるためであると推察される。

実験の実施に際して、提案システムを通して、学習者が押し出し切りの動作をどの程度習得は、判定者が動画から動作を判定した際に、合格のボーダ

ーラインである3以上の評価をつけているかどうかで判定することとした。その観点で結果を見たとき、学習者が押し出し切りを習得したかどうか、スライド動作が出来ていたかどうか、という質問については、最終的に6割以上の児童が習得しているという判定を受けた。また、刃先を斜めにする動作が出来ていたかどうかという質問については8割以上の児童が、習得できている。学習前には全ての項目について6割以上の児童は、身についていないと判定されていたため、多くの児童が学習を通して、押し出し切りの動作を習得したと言える。

さらに、KKseでの学習効果の評価については、全ての評価項目について、有意水準5%で評価点数の向上が見られた。このことからKKseでの学習が、包丁動作の教示に対して一定の効果があるものと期待される。低学年児童の練習前後の平均点数の差と高学年児童の練習前後の平均点数の差を比較すると、全ての評価項目において、低学年児童の平均の差の方が大きい。つまり、高学年児童よりも低学年児童学習効果が高かったことがうかがえる。これは、高学年児童が練習開始前から、スキルが高かったことが一因にある。実際に、練習前の評価を平均すると、低学年児童よりも高学年児童の方が高い。これに加えて、低学年児童は、包丁調理に於ける動作のクセがついていない児童が多いことから、物事を教えた時の学習効果が高いことが予想される。本研究では低学年児童への包丁調理教育を対象としている。これらのことから本研究で対象としている、年齢層は適切であるといえる。

## 5.2 食材の安定の判定可否

KKse で提案する，まな板型デバイスを用いて，食材の安定度を判定することが出来るかどうかを検証する．この実験は，まな板型デバイスを用いて，4 種類の重心を変えた物体の重心の変化を検知し，安定しているかどうかを判定させることで，提案システムの有用性を判定する．

### 5.2.1 実験環境

実験を行った環境の写真を図 64 に示す．現行のまな板型デバイスは，可視光をカメラで認識するため，外乱を取り除くために周囲を暗幕で覆った(図 66)．また，実験でまな板型デバイス上に置く食材代替用の物体は，円筒形上の物体に黒色の養生テープを貼ったものを利用した(図 65)．これは，物体に反射した光が取得データに影響を及ぼすためである．現行のシステムでは，アクリル板の周囲に配置した，LED 列の光を十分に遮断することができていない点，赤外線ではなく，可視光を取得する仕様になっているため，外界からの光を反射してしまう点の 2 点からこのような仕様になっている．実験中は，食材代替用物体の内部に，10 円玉を 200g 分(4g/枚×50 枚)位置を変えて貼り付けた．



図 64 実験環境



図 65 食材代替用円筒形状物体



図 66 まな板型デバイスを暗幕で覆っている様子

### 5.2.2 実験手法

食材代替用物体と重りを用いて、下記の 4 種類の状態を作り出し(図 67)、まな板型デバイス上に設置しそれぞれの状態についてまな板型デバイスを用いて判定を行った。今後、位置を示す際、図 67 の向きに合わせて上下左右で表現する。

- 状態1          食材代替用物体のみ
- 状態2          食材代替用物体の片端（筒の口から 14.2cm の位置）に重り  
                 を設置
- 状態3          食材代替用物体の中央（筒の口から 7.1cm の位置）に重りを  
                 設置

状態4          食材代替用物体の片端(筒の口から 0cm の位置)に重りを設置

各状態の食材代替用物体をまな板型デバイス上に設置したのち，取得画像に処理を施し，画像を保存した．保存した画像を図 68 に示す．この画像の中で設置底面部分が収まる最小の長方形を手動で切り取った．切り取った画像を 4.3.2 判定アルゴリズムで述べた手法に則って，処理にかけ ZMP と幾何重心，安定の範囲を示す長方形を重畳した画像とそれぞれの座標，安定しているかどうかの判定を出力した(図 69)．

実験の手順の中に手動で行った部分が含まれているが，Open CV には blob を囲う最小の長方形画像を取得する関数もあり，実装は可能であるが，今回は時間の都合上，長方形画像を取得する処理は，提案アルゴリズムの本質とは外れるため，手動での処理を行った．

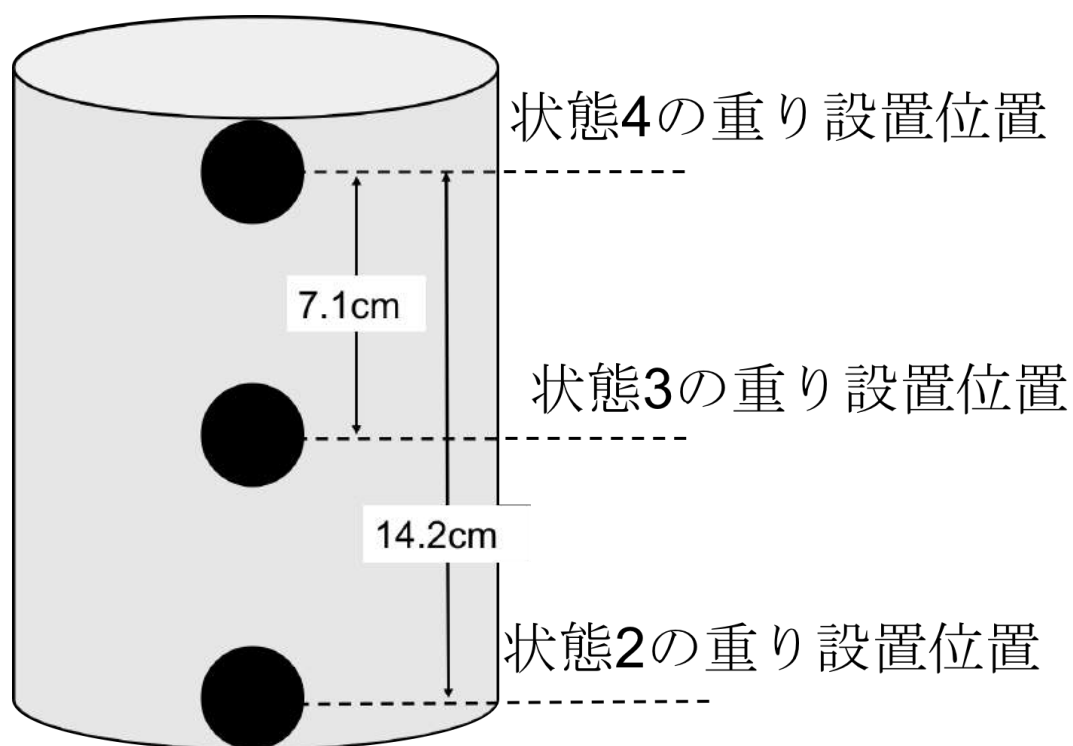


図 67 各状態の重り位置

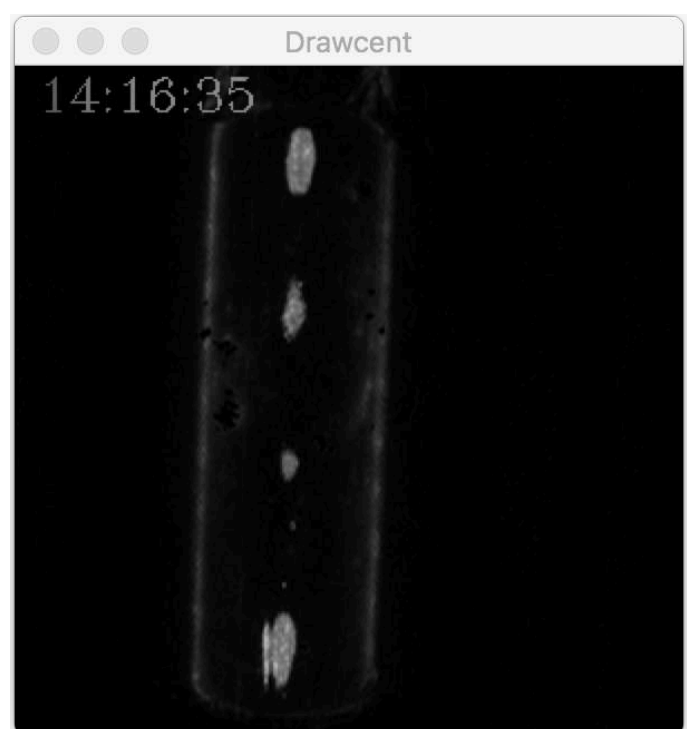


図 68 一度目の処理結果





図 69 手動矩形選択処理結果

### 5.2.3 実験結果

5.2.2 で述べた，4 つの状態について，出力画像(図 70，図 71，図 72，図 73)と計算結果をまとめた表(表 8，表 9，表 10，表 11)を下記に示す．出力結果の画像は，黄緑色の点が幾何重心( $x_{geo}, y_{geo}$ )を表し，赤色の点が ZMP の位置( $x_{zmp}, y_{zmp}$ )を表している．また，赤色の四角形で表示した位置が安定の閾値である．ZMP 点が安定の閾値の外部に出ている時，不安定であると判定して Danger:gravity\_cent\_y is beased というメッセージを出力している．さらに，矩形の上側に出ているのか，下側に出ているのかを Up, Down で表現し，左右については，Left, Right で表現している．出力画像については，論文の見やすさの都合上，画像を右へ 90 度回転している．すなわ

ち、画像右側が、上、左側が下である。そのため ZMP が安定の閾値の左側に出ている時 Danger:gravity\_cent\_y is beased Down と表示されている。

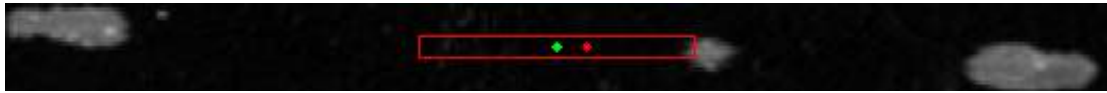


図 70 状態 1 出力結果

表 8 状態 1 出力結果

$(x_{zmp}, y_{zmp})$	(20.54,246.98)
$(x_{geo}, y_{geo})$	(20.00,260.00)
画像幅	41px
画像高さ	521px
判定	安定



図 71 状態 2 出力結果

表 9 状態 2 出力結果

$(x_{zmp}, y_{zmp})$	(23.07,320.78)
$(x_{geo}, y_{geo})$	(25.00,253.00)
画像幅	51px
画像高さ	506px
判定	Danger:gravity_cent_y is beased Down



図 72 状態 3 出力結果

表 10 状態 3 出力結果

$(x_{zmp}, y_{zmp})$	(24.55,259.68)
$(x_{geo}, y_{geo})$	(25.00,250.00)
画像幅	50px
画像高さ	501px
判定	安定



図 73 状態 4 出力結果

表 11 状態 4 出力結果

$(x_{zmp}, y_{zmp})$	(20.78,145.26)
$(x_{geo}, y_{geo})$	(21.00,244.00)
画像幅	43px
画像高さ	488px
判定	Danger:gravity_cent_y is beased Up

#### 5.2.4 考察

実験の実施に際して、提案システムのアルゴリズムの有用性を示すために、まな板型デバイスを用いて、上面物体の状態変化を認識し安定しているかどうかを判定できるかどうかを検証することが目的であった。食材代替用物体に何も重りをつけていない時、物体の中心に重りをつけた時には、安定であると判定することができた。また、重りを状態 2 の位置つまり下側に設置した際には、下側に ZMP が偏っており不安定であることを判定できていた。重りを状態 4 の位置つまり上側に設置した際には上側に ZMP が偏っており、不安定であることを判定できていた。これらの結果から、まな板型デバイスを用いることで、静止状態の物体の安定を判定することができるといえる。どちらに力が偏っているかを判定できることで、今後、学習者が持ち方や力のかけ方をどのように修正すべきか指導することに応用が可能であると考えられる。さらに、提案システムは、設置底面の矩形を大まかに取り出し、縦横比を取得することができる。今回の実験で用いた、物体のよう

---

に、設置底面のたての長さに対して、横の長さが極端に短い物体は、長さの短い部分に力をかけると、小さな、力の変動が、物体の安定度により大きく反映されるため、設置底面の長い方を把持するように指示するなどが可能であり、安全調理の教育システムとして有用であることが期待される。

ただし、現在のシステムでは、リアルタイムに判定を行うことができない点、手動で、画像を処理しなければならない点、外乱に弱い点など改善の余地が大いにある。今後は、これらの改善に努める。

## 第6章

### おわりに

本研究では，小学校低学年児童を対象に，包丁調理の安全教育システム，KKse を提案した．料理の初心者にとって安全の確保と安全に調理を行うための技能の習得は，最初に重要である．包丁調理は，安全の確保が必要な調理であるにもかかわらず，実体験を伴わずに，安全に包丁調理を行うための技能を伝達することが難しい．何故ならば，包丁調理においては力加減など，言葉では伝達の難しい情報を扱う必要があるためである．

そこで，児童の安全が確保されたまま，体感的に包丁調理の危険行動を学習可能な KKse システムを提案した．具体的には安全な包丁調理方法として，押し出し切りと食材を安定して支える方法の 2 つを教示する．視覚的には認識できない，ユーザの包丁動作を包丁の刃先と食材との接触面圧力，また食材底面の圧力値変化を取得し分析することで明らかにした．

さらに，安全かつ直感的な学習を可能にするために，ユーザ動作の正誤に応じて，包丁で食材に切り込んだ時の触覚フィードバックを再現する，糸鋸型の包丁型デバイスを提案した．糸の張力を調整することで，包丁で食材を切る時の反力を提示することの出来る道具型デバイスは新しく今後安全調理

学習以外にも、技術伝承やユーザインタフェース開発など様々な場面での応用が期待される。

実験を通して提案システムの学習効果を検討したところ、児童は、KKseを通して、押し出し切りの体の動きを習得することが可能であることがわかった。さらに、デバイス上に設置したセンサを取り付けていない物体の安定度の判定を行うアルゴリズムの有用性が明らかになった。しかし、現行の押し出し切り教示システムでは、力加減のモデル化ができていないため、正しい力加減までは伝達できていない。また、安定度を判定するデバイスは、開発の途中段階であり、リアルタイムかつインタラクティブに安定度の判定をすること、またどのようにフィードバックを行い教育にいかすのかについて、が未だ検討されていない。これらは今後検討と改良の必要がある。

食材の安定性を計測するデバイスについては、ユーザに対する実験を実施できていない。今後、実験を実施し、その効果と課題点を明らかにしていく必要がある。今後はこれらの点について改善に努める。

## 参考文献

- [1] 内閣府, 食育基本法, 1942.
- [2] 中西洋子, “食育と調理-子どもと調理のかかわり-, ”日本調理科学会誌, vol.41, no.4, pp.275-277, Aug2008.
- [3] 鈴木洋子, “調理参加を主軸にした食育の推進 -家庭における幼児の調理参加状況からの検討-, ”教育実践総合センター研究紀要, vol.14, pp.21-27, Mar.2005.
- [4] 久保加織, “調理技術教育プログラムの構築に向けてのアンケート調査”, 日本調理科学会誌 Vol.40, No.6, pp.449-455(2007)
- [5] 東京ガス都市生活研究所.”都市生活レポート 親子料理の実態とその効果について~親子料理促進の鍵を探る~, 2008.
- [6] 東京ガス都市生活研究所.”都市生活レポート 親子料理の意識と実態” 2014.
- [7] 富江ハス子, “調理操作, ” 日本調理科学会誌, vol.28, no.1, pp.71-75, 1995.



- 
- [8] S. Ota et al. Comparison of Experts' between Non-experts' Apple Peeling Skills and the Designing of Learning Support System, Proc. Multimedia (ISM), 2010 IEEE International Symposium on, Taichung, pp.266-271, 2010.
- [9] Nesra Yannier et al. , “Learning from Mixed - Reality Games : Is Shaking a Tablet as Effective as Physical Observation ?”,Proc. 33rd HCI pp.1045-1054. , 2015.
- [10] 佐藤 彩夏 , 暦本 純一, “Shadow Cooking : 円滑な調理のための状況に応じた調理ナビゲーション”. (UBI) , vol.2013, no.8, pp.1-4, May.2013.
- [11] 森 直幸 他, “調理者の手の動きを時空間制約とした調理中の食材追跡”.電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, vol.107, no.454, pp.45–50, Jan.2008.
- [12] Smith Thomas et al.” Exploring Gesture Sonification to Support Reflective Craft Practice” ,Proc. 33rd HCI, no.10, pp.67-76.
- [13] R. Arisandi et al, "Virtual Handcrafting: Building Virtual Wood Models Using ToolDevice" Proc. IEEE, vol. 102, no. 2, pp. 185-195, Feb. 2014.
- [14] 坂本廣子(1990)”坂本廣子の台所育児 -一歳から包丁を-“ 一般社団法人農山漁村文化協会
- [15] Y. Suzuki, “Selection of the Handy Size and Weight of the Kitchen Knife for Elementary School Child, Proc. Japanese Journal of Sensory Evaluation, vol.4, no.2, pp.106-111,2000.

- 
- [16] 坂本侑一郎 他, ” 赤外線 LED 埋め込みシリコンゴムを用いたタッチパネル”, 情報処理学会 インタラクション, vol.2011, no.3, pp.715-718, Mar.2011.
- [17] Beginner's Mind Collective et al, ” Makey Makey: Improvising Tangible and Nature-based User Interfaces”, TEI '12, pp.367-370, 2012
- [18] ジャスティン・ケナーディ, ”トラウマ的な出来事に対する子どもの反応：未就学児～高校生対象 教員用ガイド”, クイーンズランド大学 CONROD, pp11-12, 2011
- [19] 鈴木直樹, ” バーチャルリアリティ技術を援用した手術シミュレーション技術の変遷”, 日本コンピュータ外科学会誌, vol.3, no.1, pp.5-16, 2001.
- [20] 森 直幸, ” 調理者の手の動きを時空間制約とした調理中の食材追跡”, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, vol.107, no.454, pp 45-50, Jan.2008
- [21] Zoran, Amit, Nan-Wei Gong, Roy Shilkrot, Shuo Yan, and Pattie Maes. 2015. "Cutting Edge Vision: Metal Embedded Optics for Smart Knives." In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '15). Work in Progress & Video Showcase Presentation.
- [22] ポプリの森, ままごとセット Visited: 2017/01/26 (<http://www.popuri-nomori.com/SHOP/ed-500033.html?origin=pla&ptid=18283950120&productid=ed->

500033&gclid=Cj0KEQIA-f3CBRCbluKf4vu008kBEiQA-

iGq\_VNliuU2zm52yh7sZdrcJE5vEGzZyxzwCKjnSjVqoMaAow98P8HAQ)

- [23] 大久保 仁, “重心動揺計”, 検査と技術, vol.10 ,no.2, pp.187-192, 1982.
- [24] 鈴木優 他, “食材上に情報を重畳表示する調理支援システムの試作 (調理支援, データ工学と食メディア), ” 電子情報通信学会技術研究報告. DE, データ工学, vol.112, no.75, pp.19-24, May.2012.
- [25] Yu, S., Shunsuke, M., & Hirotada, U. (2011). Cooking support with information projection over ingredient. JInternational Jounal of Innovate Computing, Information and Control, 7(1), 1–11.
- [26] Yoneda, K., & Hirose, S. (1996). Tumble Stability Criterion of a Walking Machine, 47–52.
- [27] M. VUKOBRATOVIC, FRANK, A. A., & JURICIC, D. (1970). On the Stahility of Biped Locomotion. IEEE TRANSACTIONS ON BIO-MEDICAL ENGINEERING, BME-17(1), 25–36.
- [28] 水戸部和久, 矢島克知, & 那須康雄. (2000). Control of Walking Robots by Manipulating the Zero Moment Point. 日本ロボット学会誌, 18(3), 359–365.
- [29] Han, J. Y. (n.d.). Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection, 115–118.
- [30] 静岡県総合教育センター第 4 章家庭科における安全指導について, Visited:2017/01/26([http://www.center.shizuoka-c.ed.jp/shizuoka\\_guideline/09katei/4anzen.pdf](http://www.center.shizuoka-c.ed.jp/shizuoka_guideline/09katei/4anzen.pdf))

- 
- [31] Interlink Electronics inc. FSR 400, Visited:2017/01/26  
<http://www.interlinkelectronics.com/FSR400.php>
- [32] Arduino uno, Visited:2017/01/26  
<https://www.sparkfun.com/products/11021>
- [33] 西友ネットスーパー野菜・果物 Visited:2016/7/19  
<https://www.the-seiyu.com/front/app/catalog/list/init?searchCategoryCode=200018&nsFlg=true&wrt=y&parent1Code=200002&parent2Code=200018>
- [34] Tower Pro Pte Ltd. SG92R micro servo, Visited:2017/01/26  
<http://www.towerpro.com.tw/product/sg92r-7/>
- [35] 株式会社エクシールコーポレーション ハイパーゲルシート 硬度 30, Visited:2017/01/26  
<http://www.exseal.co.jp/freecut/prducts-list/prducts6-1>
- [36] アクリルショップはざいや 透明アクリル(押出板) 厚さ 10mm サイズ 200×400 mm, Visited:2017/01/26  
<http://www.hazaiya.co.jp/estimate/>
- [37] akiba ピカリ館 テープ LED 9648, Visited:2017/01/26  
<http://www.akiba-led.jp/product/730>
- [38] POINT GREY FL2-03S2C, Visited:2017/01/26  
<https://www.ptgrey.com/flea2-03-mp-color-firewire-1394b-sony-icx424-camera>

---

[39] computer T0812-FICS,

<http://www.avsupply.com/ITM/10912/T0812FICS.html> (Visited:2017/01/26)

[40] 西松屋 SmartAngel 森のおもちゃザクザクくたもの, <http://www.dena-ec.com/item/242902899> , (Visited:2017/01/26)

## 謝辞

本論文は筆者が電気通信大学大学院情報システム学研究科情報メディアシステム学専攻博士前期課程に在籍中の研究成果をまとめたものである。同専攻准教授野嶋琢也先生には指導教官として本研究の実施の機会を与えていただき、その遂行にあたって終始、ご指導をいただいた。研究を新しく始めること、新しい研究であるにもかかわらず、できる限り外部に発表したいといった筆者の希望に快く答えて下さり、たくさんの機会を与えて下さった。ここに深謝の意を表する。同専攻教授広田光一先生、並びに、同専攻教授田野俊一先生には副査としてご助言をいただくとともに、本論文の細部にわたりご指導をいただいた。ここに深謝の意を表する。東京工業大学 情報理工学院 小池英樹先生、佐藤俊樹先生には、本研究まな板型デバイスに必要なシリコンシートや USB カメラに関する知識をご教示いただいた。ここに深謝の意を表する。本研究の第 5 章の実験では、公益社団法人ガールスカウト千葉県第 36 団の各位には実験場所を提供していただくとともに、実験の被験者として多大なご協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。本専攻対話型システム学講座の各位には、研究遂行にあたり、日頃より有益な御討

---

論ご助言を頂くとともに，本研究の第 5 章の実験では，判定者として，実験に協力していただいた．ここに感謝の意を表する．

## 発表文献

- (1) 齊藤志保, "Kitchen Knife Safety Education Supporter:包丁調理における児童の安全教育システム", インタラクション 2016 論文集©情報処理学会 2016 ID.3B20, pp.845~849(2016)
- (2) 齊藤志保, 野嶋琢也, 広田光一, 櫻井翔, "KKse-包丁調理における児童の安全教育システム-(データ工学と食メディア)", 電子情報通信学会 技術研究報告.DE, データ工学, Dec.2016
- (3) Shiho Saito, Koichi Hirota and Takuya Nojima, "KKse: Safety Education System of the Child in the Kitchen Knife Cooking", EEE Proceedings. VR 2017. Virtual Reality, 2017., L.A, 2017